

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION



Diseño e Implementación de una Impresora 3D utilizando herramientas Open Source

Elaborado por:

Br. Emilly Tatiana Altamirano Montenegro

2010-32621

Br. Santiago Rafael Zambrana Narváez

2010-33725

TUTOR:

TeknL. Marco A. Munguía Mena

Managua, Nicaragua 2017

DEDICATORIA

Dedico esta monografía a Dios por darme la fuerza necesaria para lograr mis objetivos. Mis padres y hermanas por haberme apoyado en todo momento y ser el pilar fundamental en todo lo que soy. A mis maestros y amigos, por estar presentes en todo este camino universitario.

Todo esto es posible gracias a ustedes.

Emilly Tatiana Altamirano Montenegro

A mi madre, a quien espero seguir enorgulleciendo y a mis seres queridos.

Santiago Rafael Zambrana Narváez

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado la fuerza para lograr mis objetivos, además de su infinito amor y bondad.

A mis padres y hermanas

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Finalmente, a los maestros y amigos, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario y que siempre estuvieron en la disposición de ayudar en las asesorías y dudas presentadas.

Emilly Tatiana Altamirano Montenegro

Agradezco a mi familia por todo el apoyo brindado a lo largo de estos estudios. A mi madre, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo.

Finalmente, a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de este proyecto.

Santiago Rafael Zambrana Narváez

RESUMEN

La industria de la impresión 3D empezó en los años 80, pero estas costosas maquinas limitaban el uso a profesionales, entusiastas, entre otros. La expansión actual de la nueva tecnología se ha beneficiado de las patentes caducadas de impresión 3D por modelado de deposición fundida, en el cual los objetos son contruidos capa por capa a partir de plástico fundido lo cual nos permite realizar modelos de manera más rápida y muchas veces a un menor costo que utilizando otros métodos. El presente documento consiste en la construcción de una impresora 3D, iniciando con una comparación de las distintas tecnologías disponibles, así como sus ventajas y desventajas. Posteriormente se describen los componentes utilizados para la construcción de esta máquina. Finalizando con la comparación de los distintos programas involucrados en esta disciplina y una presentación de los resultados finales. Debido a que la Facultad de Electrotecnia y Computación no tiene antecedentes en esta área, este proyecto servirá como pauta para esta nueva tecnología y de este modo esté disponible para estudios posteriores.

ABSTRACT

The 3D printing industry started in the late 1980s, but these expensive machines limited the use to professionals. The current expansion of new 3D technologies has benefited from the expired 3D printing patents for Fused Deposition Modeling, where objects built are up layer by layer with extruded melted plastic, which allows creating models faster, and often at a lower cost than using other methods. The present document consist in the construction of a 3D Printer, starting with a comparison of the different technologies available, as well as its advantages and disadvantages. Subsequently, there are described the components used for the construction of this machine. Finishing with the comparison of the different programs involved in this discipline and a presentation of the results. Due to the Faculty of Electrical and Computer Science has no precedents in this area, this project will serve as a guideline to this new technology and thus be available for further studies.

Tabla de Contenido

I. Introducción	xi
II. Justificación	xii
III. Objetivos	xiii
CAPITULO 1	1
1. Tecnologías de Impresión 3D	1
1.2 Modelado por deposición (FDM)	2
1.3 Sintetizado selectivo por láser (SLS)	2
1.4 Sintetizador por haz de electrones (EBF)	3
1.5 Sintetizado directo por láser (DMLS)	4
1.6 Proyección Aglutinante (DSPC)	4
1.7 Estereolitografía (SLA)	5
1.8 Fotopolimeracion por luz ultravioleta (SGC)	6
2. Secuencia de Impresión 3D	7
3. Proyecto RepRap	8
3.1 Filosofía	8
3.2 Impresoras Operativas	9
CAPITULO 2	12
4. Impresora Prusa i3	12
4.1 Estructura	12
4.2 Componentes	13
4.2.1 Componentes imprimibles	14
4.2.2 Componentes no imprimibles	16
4.2.3 Componentes Electrónicos	18
5. Tipos de software involucrados en la Impresión 3D	29
5.1 Diseño Asistido por Computadora CAD	29
5.1.1 SketchUp	29
5.1.2 Fusion 360	30
5.1.3 Blender	31
5.2 G-CODE	32
5.3 Laminadores o Slicers	33
5.3.1 Repetier-Host	33
5.3.2 Slic3r	35

5.3.3	CURA	35
5.3.3	Craftware	36
5.4	Marlin, firmware para Impresión 3D	36
6.	Integración del Hardware y Software	39
6.1	Hardware	40
6.1.1	Eje Y	40
6.1.2	Eje X	41
6.1.3	Eje Z	43
6.1.4	Extrusor	45
6.2	Ensamblaje de la Electrónica	48
6.2.1	Criterios de Selección de motores y drivers	48
6.2.1.1	Primer Criterio de selección:	50
6.2.1.2	Segundo Criterio de selección:	51
6.2.2	Calibración de la corriente	52
6.3	Software	55
6.3.1	Configuración del firmware	55
CAPITULO 3	.....	61
7.	Análisis y Presentación de Resultados	61
7.1	Pruebas Iniciales	61
7.2	Pruebas Finales	63
CAPITULO 4	.....	66
8.1	Conclusiones	66
8.2	Recomendaciones	67
Referencias	.....	68
ANEXOS	.....	I
Anexo A	.....	I
Anexo B	.....	IV
Anexo C	.....	VI
Anexo D	.....	VIII

Lista de Figuras

Figura 1.1 Secuencia de Impresión 3D	8
Figura 1.2 Miembros del Proyecto RepRap	9
Figura 1.3 Impresora Darwin	9
Figura 1.4 Impresora Mendel.....	10
Figura 1.5 Impresora Prusa i3.....	10
Figura 1.6 Impresora Kossel.....	10
Figura 1.7 Impresora R-360.....	11
Figura 2.1 Ejes de la Impresora	12
Figura 2.2 Shield RAMPS 1.4.....	19
Figura 2.3 Drivers tipicos utilizados en Impresoras 3D FDM	20
Figura 2.4 Motor Paso a Paso NEMA 17.....	21
Figura 2.5 Curva de Comportamiento del Termistor	23
Figura 2.6 Elemento Termistor.....	23
Figura 2.7 Sonda Termistor	23
Figura 2.8 Cama Caliente MK2B	24
Figura 2.9 Extrusion Directa	27
Figura 2.10 Extrusion Bowden	28
Figura 2.11 Finales de Carrera	29
Figura 2.12 Modelado 3D SketchUp	30
Figura 2.13 Modelado Avanzado Fusion360	30
Figura 2.14 Interfaz Blender	31
Figura 2.15 Ejemplo de Codigo G.....	32
Figura 2.16 Ventana Principal Repetier-Host	34
Figura 2.17 Previsualizador del modelo 3D Slic3r	35
Figura 2.18 Interfaz CURA.....	35
Figura 2.19 Modelo en Craftware	36
Figura 2.20 Logotipo Marlin FW	36
Figura 2.21 Sensor Capacitivo para Autolevel.....	39
Figura 2.22 Elementos del Eje Y.....	40
Figura 2.23 Base de la Impresora.....	41
Figura 2.24 Eje Y Finalizado.....	41
Figura 2.25 Elementos del Eje X.....	42
Figura 2.26 Eje X Finalizado.....	42

Figura 2.27 Montaje correcto del motor y polea en el Eje X-	43
Figura 2.28 Elementos del Eje Z.....	43
Figura 2.29 Elementos del Eje Z.....	44
Figura 2.30 Eje X y Eje Z	45
Figura 2.31 Partes del Extrusor.....	45
Figura 2.32 Extrusor Pre-ensamblado	46
Figura 2.33 Extrusor Ensamblado	47
Figura 2.34 Estructura Finalizada	47
Figura 2.35 Estructura Finalizada con el extrusor.....	47
Figura 2.36 Diagrama de Conexión de la RAMPS.....	48
Figura 2.37 Motor NEMA 17 Kysan.....	49
Figura 2.38 Características disponibles del motor	49
Figura 2.39 Puntos de calibración en los drivers.....	54
Figura 2.40 Selección de tarjeta y puerto	55
Figura 2.41 Carpeta Marlin	56
Figura 2.42 Controladora y Extruder.....	56
Figura 2.43 Selección de Sensores.....	57
Figura 2.44 Configuración Parámetros Térmicos.....	57
Figura 2.45 Parámetros PID	58
Figura 2.46 Configuración Finales de Carrera y sentido de giro de los motores	58
Figura 2.47 Pasos por milímetro	59
Figura 2.48 Configuración Nivelación Automática	60
Figura 3.1 Pruebas Iniciales	61
Figura 3.2 Jumpers necesarios para los pasos por milímetro.....	62
Figura 3.3 Ficha de casino impresa	62
Figura 3.4 Busto de Joda a la izquierda, Dragon Adalinda a la derecha	63
Figura 3.5 Resultados finales, vista frontal	64
Figura 3.6 Resultados finales, vista trasera	64
Figura 3.7 Resultados finales, vista superior	65
Figura A.1 Interfaz Repetier-Host, agrega nueva impresora	I
Figura A.2 Ajustes de conexión Impresora-PC.....	I
Figura A.3 Pestaña Impresora, configuración de parámetros de movimiento.....	II
Figura A.4 Pestaña Extrusor, definición de los valores máximos de temperatura.....	II
Figura A.5 Dimensiones de la Impresora	III

Figura A.6 Opciones de laminadores	III
Figura B.1 Parametros para Capas, Perimetros y Relleno.....	IV
Figura B.2 Velocidad y Temperatura en Slic3r	IV
Figura B.3 Configuración general del extrusor y Código-G	V
Figura C.1 Configuración Básica de la Impresora.....	VI
Figura C.2 Parametros de Capas y Perimetros.....	VI
Figura C.3 Parametros para Relleno y Velocidad	VII
Figura C.4 Parametros utilizados para la ventilación y otros	VII
Figura D.1 Parametros Básicos y Avanzados	VIII
Figura D.2 Parametros de Primera Capa y Temperatura	VIII
Figura D.3 parametros de Código-G	IX
Figura D.4 Interfaz Final de Craftware	IX

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Tecnologías de la Impresión 3D	1
Tabla 4.1 Estructuras Prusa i3	13
Tabla 4.2 Piezas Impresas Prusa i3	14
Tabla 4.3 Piezas Mecánicas Prusa i3	18
Tabla 5.1 Algunos comandos del Código-G	33
Tabla 6.1 Tabla comparativa de drivers para motores paso a paso	52
Tabla 6.2 Tabla para identificar los modelos de drivers	53
Tabla 6.3 Parámetros eléctricos de los drivers seleccionados	54
Tabla 6.4 Tipos de Nivelación Automática	60
Tabla 7.1 Parámetros utilizados en los programas laminadores	63

I. Introducción

En la sociedad actual se han generado nuevas necesidades relacionadas con la capacidad espacial y algunas veces no resulta fácil ver un concepto a partir de un plano. Una de las vías para solventar dichas necesidades es la impresión en 3D. La utilización de las impresoras 3D en diversos campos se ha vuelto muy importante en la actualidad y aún más cuando es empleado en el área de diseño de prototipos y piezas para distintas necesidades.

Esta tecnología tiene multitud de aplicaciones como, por ejemplo, prótesis, cubiertas para la cara en caso de heridas profundas, en la Arquitectura e Ingeniería nos permite crear modelos, realizar prototipos, maquetas, etc. En la construcción se habla de la posibilidad de utilizar impresoras 3D gigantes para construir casas a través de una mezcla de cemento con residuos industriales como el vidrio y un agente de endurecimiento especial en tan sólo 24 horas.

La técnica aditiva del modelado por deposición fundida también conocida por FDM¹ es una tecnología que consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que inicialmente se encuentra en estado sólido almacenado en rollos, se funde y es expulsado por la boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme van tomando la forma de cada capa. Esta técnica es la utilizada en nuestro diseño.

Se trata de la técnica más común en cuanto a impresoras 3D de escritorio y usuarios domésticos se refiere. La ventaja principal es que esta tecnología ha permitido poner la impresión 3D al alcance de cualquier persona con impresoras como la CubeX, Prusa, Ultimaker, Markforge, Luzbot, etc. Uno de los objetivos del presente trabajo es implementar una impresora 3D bajo la licencia GNU GPL² que nos permita crear objetos tridimensionales a partir de termoplásticos, de este modo tener un punto de partida que permita a estudiantes y personas interesadas en esta tecnología, realizar proyectos de una manera profesional.

¹ Fused Deposition Modeling

² Licencia Publica General de GNU

II. Justificación

Actualmente la impresión 3D es una tecnología novedosa, la cual es utilizada en un sin número de áreas. Sin embargo, los altos costos que estos equipos tienen han evitado su propagación en muchas disciplinas, en la carrera de Ingeniería Electrónica sería de gran beneficio contar con uno de estos equipos, a continuación, se listan algunos beneficios para esta carrera:

- Creación de piezas necesarias en algunos proyectos, como engranajes, maquetas etc.
- Creación de cajas a la medida para resguardar las tarjetas electrónicas diseñadas por los estudiantes, de esta manera sustituir las cajas de cartón o madera comúnmente utilizados.
- Fomentar el uso de programas de diseño en 3D como herramienta creativa.
- Crear piezas para proyectos de robótica.

Es por esto que se propone diseñar e implementar una impresora 3D, la cual nos permita de manera eficiente crear objetos partiendo de termoplásticos. Se trabajará bajo conceptos como el "do it yourself (DIY)", el "Software libre" y las comunidades de desarrollo en internet que tan importantes han sido para la existencia de multitud de herramientas digitales y de fabricación de bajo costo.

Con esta tesis se pretende de igual manera crear un punto de partida para la dar a conocer esta tecnología en la Facultad de Electrotecnia y Computación.

III. Objetivos

Objetivo General

- Implementar una impresora 3D para la elaboración de objetos tridimensionales a partir de termoplásticos y haciendo uso de herramientas Open Source.

Objetivos Específicos

1. Realizar un análisis comparativo de las distintas tecnologías que convergen en el desarrollo de una impresora 3D
2. Determinar los componentes mecánicos y electrónicos involucrados en la impresión 3D.
3. Explorar y seleccionar los diferentes softwares involucrados en la tecnología 3D.
4. Integrar los componentes de hardware y software de la impresora.

CAPITULO 1

1. Tecnologías de Impresión 3D

Un gran número de tecnologías en competencia están disponibles para la impresión 3D; sus principales diferencias se encuentran en la forma en la que los diferentes capas son usadas para crear piezas. Algunos métodos usan fundido o ablandamiento del material para producir las capas, por ejemplo, sinterizado de láser selectivo (SLS) y modelado por deposición fundida (FDM), mientras que otros depositan materiales líquidos que son curados con diferentes tecnologías. En el caso de manufactura de objetos laminados, delgadas capas son cortadas para ser moldeadas y unidas juntas.

Cada método tiene sus propias ventajas y desventajas; por ello, algunas compañías ofrecen elegir entre polvos y polímero como material de fabricación de la pieza según sean las prioridades del cliente. Generalmente las consideraciones principales son velocidad, coste del prototipo impreso, coste de la impresora 3D, elección y coste de materiales, así como capacidad para elegir el color.

En la Tabla 1.1 vemos un resumen de los métodos utilizados para la impresión 3D y otros aspectos importantes:

Tabla 1.1
Tecnologías de Impresión 3D

<i>Tipo</i>	<i>Tecnologías</i>	<i>Materiales</i>
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (por ejemplo PLA, ABS), HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles
Granulado	Sinterizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímero

1.2 Modelado por deposición (FDM)

El fundador de Stratasys, Scott Crump, inventó la tecnología FDM hace más de 20 años [1], las impresoras 3D que utilizan la tecnología FDM crean piezas capa por capa de abajo a arriba calentando y extruyendo el filamento termoplástico.

Un filamento termoplástico o metálico que inicialmente se almacena en rollos, es introducido en una boquilla. La boquilla se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes controlados electrónicamente. La boquilla normalmente la mueven motores a pasos. La pieza es construida con finos hilos del material que solidifican inmediatamente después de salir de la boquilla.

Ventajas

- La tecnología es limpia, fácil de usar y adecuada para las oficinas.
- Los termoplásticos de producción compatibles son estables mecánica y medioambientalmente.
- Las geometrías y las cavidades complejas que podrían ser problemáticas al usar otros sistemas se convierten en tarea fácil gracias a la tecnología FDM.

Materiales

- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)
- Poliláctico (PLA)
- Policarbonato
- Policaprolactona (PCL)
- Polifenilsulfona (PPSU)
- Polieterimida (PEI) La polieterimida «Ultem 9085» es resistente al fuego y a los disolventes.
- Ceras
- Chocolate y otros alimentos para uso en repostería
- Acetato de polivinilo (PVA) utilizado para soportes hidrosolubles

1.3 Sintetizado selectivo por láser (SLS)

El sinterizado selectivo por láser (en inglés, Selective Laser Sintering) es una técnica de adición de prototipado rápido en el cual se deposita una capa de polvo, de unas décimas de milímetro [2], en una cuba que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO2 sinteriza el polvo en los puntos seleccionados (causando que las partículas se fusionen y solidifiquen). Se utiliza para pequeños volúmenes de piezas que requieran ser funcionales.

Ventajas

- Esta tecnología hace posible la fabricación de objetos respetando las altas exigencias de las piezas funcionales, como la resistencia mecánica y la resistencia química a la temperatura.
- Este procedimiento permite obtener piezas coloreables.
- Sin límites de forma gracias a la ausencia de soportes.

Materiales

- Titanio
- Acero
- Aleaciones
- Nailon (puro, con fibras de vidrio u otras fibras)
- Poliestireno.

1.4 Sintetizador por haz de electrones (EBF)

El funcionamiento de la fusión por haz de electrones es muy cercano al de la fusión selectiva por láser, de hecho, la materia prima es al principio en forma de polvo que se pone en un tanque al interior de la máquina. Este polvo es luego depositado en forma de finas capas que se precalientan y se hacen fundir en los lugares donde se desea construir la pieza. La fabricación se hace entonces, capa por capa, repitiendo el proceso tantas veces sea necesario para obtener la pieza completa.

La principal diferencia entre los procesos con láser es que la fuente de energía, como el nombre del proceso lo indica, no es un rayo láser sino un haz de electrones. Mientras que un filamento de tungsteno se calienta al vacío, este libera electrones que son partículas elementales cargadas eléctricamente. Estas partículas son aceleradas y dirigidas por electro-imanes con el fin de ser proyectadas a alta velocidad sobre la superficie del polvo. Este tiene por efecto el calentamiento de las partículas de polvo.

Ventajas

- La velocidad de fabricación. El haz de electrones se puede separar para calentar el polvo en diferentes lugares al mismo tiempo lo que permite acelerar la el proceso.
- El hecho de precalentar el polvo antes de hacerlo fundir limita las deformaciones, reduciendo así la necesidad de refuerzos y soportes durante la fabricación.

Materiales

- Polvo de titanio

- Cromo cobalto
- Materiales conductores en su mayoría

1.5 Sintetizado directo por láser (DMLS)

El proceso de sinterizado directo de metal por láser implica la creación de un objeto capa por capa a través de un metal que ha sido tratado por un láser. El espesor promedio de cada capa es de 20 micrones [3]. El material en polvo es distribuido por un brazo deslizante de metal a la plataforma de impresión. El archivo 3D dirige el láser a la sustancia en polvo en puntos específicos que funde el polvo de metal, fundiendo las partículas y transformando el material en forma sólida.

La resistencia de las piezas obtenidas es hoy en día comparable a la de las técnicas de fundición o de mecanizado. El sinterizado directo de metal por láser es una de las raras tecnologías de fabricación aditiva que es utilizada al nivel de la producción industrial.

Ventajas

- Excelente resolución/precisión de los objetos producidos
- Capacidad de producir un objeto utilizando uno existente
- Capacidad para detener y reiniciar el proceso de impresión 3D
- Capacidad de cambiar entre dos procesos de impresión

Materiales

- Aleaciones de acero
- Acero inoxidable
- Acero mecanizado
- Aluminio
- Bronce
- Cromo-cobalto
- Titanio
- Cerámica

1.6 Proyección Aglutinante (DSPC)

Tecnología de impresión 3D que trabaja mediante la deposición de material en polvo (composite) en capas y su ligazón selectiva con el sistema de impresión de “chorro de tinta” de material aglutinante.

El sistema alimentador del equipo se encarga de depositar material particulado sobre la plataforma y esparcirlo usando un rodillo, dicho polvo puede ser sílice o alúmina, posteriormente el sistema de impresión mediante un cabezal con múltiples

boquillas inyecta resina aglutinante formando el patrón que define la capa, luego desciende la plataforma y se inicia nuevamente el proceso hasta terminar el molde que queda inmerso en el polvo sin aglutinar, es tratado térmicamente para dar rigidez y luego es removido el polvo sobrante.

Materiales

Composite:

- Yeso
- Cera perdida
- Metales no-ferrosos, a base de arena para fundición, yeso y aditivos
- Hule a base consiste de celulosa, fibras especiales y aditivos

Aglutinante

- Aglomerante monocromo. Se utiliza en las impresoras monocromo. Permite obtener piezas de un sólo color (blanco yeso). Existen variaciones que permiten obtener piezas de otro color, pero siempre un color único: Gris, Cian, Magenta o Amarillo.
- Aglomerante en color (Cian, Magenta, Amarillo y Transparente). Es el conjunto de aglomerantes que se utilizan para producir piezas a todo color. Las tintas se mezclan como si de una impresora de chorro de tinta en color se tratara para obtener un amplio espectro de colores.

1.7 Estereolitografía (SLA)

La estereolitografía es un proceso de fabricación por adición que emplea resina que cura mediante luz ultravioleta en un tanque, y un láser ultravioleta para construir los objetos. Los objetos tridimensionales son obtenidos mediante la adición de finas capas, impresas una encima de otra. Cada capa es una sección transversal del objeto que el láser traza en la superficie de la resina, que es el material consumible. La resina líquida cura y se solidifica mediante la exposición al láser de luz ultravioleta, quedando así la capa recién solidificada pegada a la capa previa que existía debajo suya.

Una vez que la capa a imprimir ha sido creada, la plataforma de elevación del equipo desciende una distancia equivalente al grosor de una capa de resina solidificada (típicamente entre 0.05 y 0.15 mm). Una hoja barre la pieza dejando una nueva capa de resina líquida en la superficie de la cubeta, lista para la siguiente impresión del láser. De esta forma se va creando, capa a capa una pieza tridimensional. Una vez que la pieza tridimensional se ha completado, ésta se sumerge en un baño químico que retira el exceso de resina y, posteriormente, curada en un horno de luz ultravioleta.

Materiales

- Rapidez
- El acabado superficial de las piezas es muy bueno, normalmente mejor que el obtenido mediante SLS.
- Las piezas fabricadas mediante estereolitografía son suficientemente duras como para ser mecanizadas, y pueden también ser usadas en la creación de moldes maestros para moldeo por inyección, termoconformado, moldeo por soplado, y varios procesos de forja.
- Una gran ventaja de esta tecnología frente a la SLS es que las piezas producidas no son porosas (como ocurre en el sinterizado por láser), lo cual hace que no necesiten de tratamiento de sellado posterior para hacerlas impermeables al agua o aire.

1.8 Fotopolimeración por luz ultravioleta (SGC)

Se basa en la solidificación de un fotopolímero o resina fotosensible. En la fotopolimerización, sin embargo, se irradia con una lámpara de UV de gran potencia todos los puntos de la sección simultáneamente.

La tecnología SGC realiza un curado de un fotopolímero capa a capa. En lugar de usar un láser explorador para realizar el curado de una capa dada, la capa completa se expone a una fuente de luz ultravioleta a través de una máscara que se coloca encima de la superficie de un polímero líquido. El proceso de endurecimiento requiere de 2 a 3 segundos por capa.

Primeramente, se genera un modelo CAD dividido por capas. Para cada capa se genera una máscara. Se distribuye una capa plana delgada de fotopolímero líquido sobre la superficie de trabajo y se coloca la máscara encima, se expone entonces a una fuente UV de alta energía. El líquido expuesto a la fuente solidifica y el que queda oculto por la máscara queda en estado líquido. Acto seguido se limpia el área de trabajo retirando el líquido sobrante y se rellenan las áreas abiertas de la capa con cera caliente, la cual servirá de sostén al enfriarse.

Ventajas

- Según Cubital se obtiene mayor precisión y mejores propiedades mecánicas debido a la forma de polimerización.
- Se pueden generar varias piezas de una vez.
- Rara vez se requiere soporte, gracias a la utilización de la cera.
- Las piezas generadas no presentan efecto de contracción.
- Presentan gran resistencia y alta estabilidad estructural lo que les hace ser menos frágiles.

- No se necesita proceso de post-curado.
- Es capaz de generar partes muy complicadas sin gran dificultad.
- Se puede interrumpir el proceso y borrar las capas erróneas

Materiales

- Fotopolímeros y resinas fotosensibles

Para este trabajo monográfico se escogió la tecnología FDM debido al gran auge que se ha visto en los últimos años en las impresoras 3D de escritorio, por lo cual, se describirá a detalle el trabajo llevado a cabo para el completo funcionamiento de una de estas impresoras con esta tecnología.

2. Secuencia de Impresión 3D

En el proceso que va desde la fase de preparación del modelo hasta la de fabricación del prototipo, el cual es bastante largo y complejo, participan muchas partes diferentes que deben interactuar y trabajar juntas fluidamente.

Básicamente el proceso de la Impresión 3D involucra:

a) Modelación digital: crear un modelo 3D de la idea que se tiene en mente, un alter ego digital del objeto que se quiere hacer. Para ello se utiliza un software, a menudo llamado CAD³.

b) Exportación: generar un archivo en el formato correcto (por lo general STL) que contenga toda la información geométrica necesaria para representar el modelo digital.

c) Rebanado o laminado: convertir el modelo digital (técnicamente una representación tridimensional de una superficie hermética, subdividida en una malla triangular) en una lista de comandos que la impresora 3D pueda entender y ejecutar, generalmente llamados códigos g o g-code.

d) Conexión: dar la lista de instrucciones a la impresora, ya sea a través de una conexión USB a un PC o copiando el archivo en una tarjeta de memoria que pueda ser leído directamente por la propia impresora.

e) Impresión: preparar la impresora 3D y comenzar la impresión.

f) Acabado: quitar el objeto de la plataforma de impresión y eliminar las partes adicionales (soporte, balsa, falda, etc.), si están presentes para limpiar su superficie.

³ Diseño Asistido por Computadora

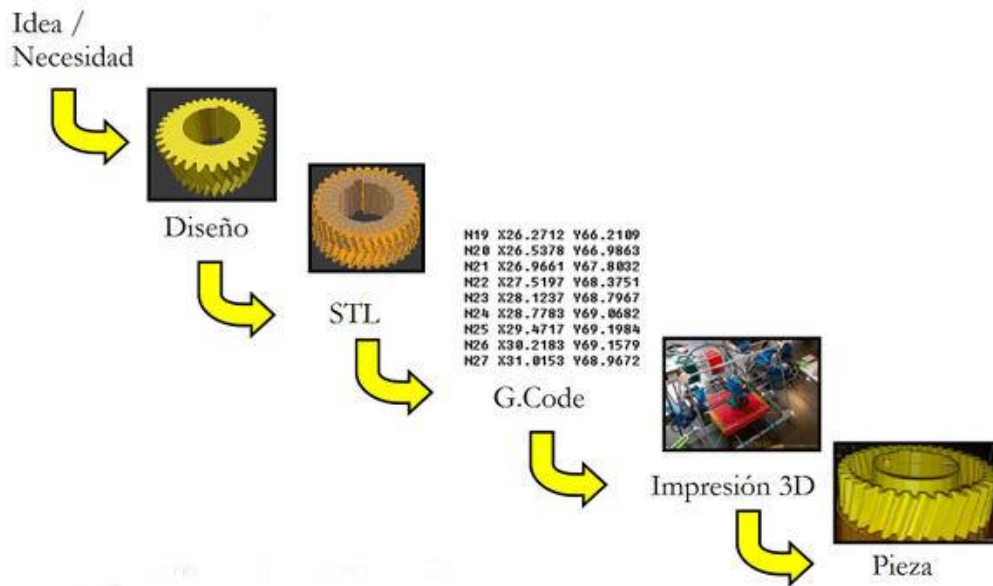


Figura 1.1 Secuencia de Impresión 3D

En la Figura 1.1 podemos ver de manera más clara lo descrito anteriormente. Los dos primeros pasos se pueden obtener a través de páginas web pero estos modelos algunas veces pueden salir con algunos defectos, por lo que hay que tratar de corregirlos con software.

3. Proyecto RepRap

3.1 Filosofía

El Proyecto Reprap es una iniciativa con el ánimo de crear una máquina autorreplicable que puede ser usada para prototipado rápido y manufactura. Una máquina de prototipado rápido es una Impresora 3D que es capaz de fabricar objetos en tres dimensiones a base de un modelo hecho en ordenador.

El autor del proyecto Adrian Bowyer describe la replicación como la habilidad de producir los componentes necesarios para construir otra versión de sí mismo, siendo una de las metas del proyecto. La autorreplicación distingue el proyecto RepRap de otro similar llamado Fab@home.

Debido al potencial de la autoreplicación de la máquina, el creador visiona la posibilidad de distribuir a bajo costo máquinas RepRap a personas y comunidades, permitiéndoles crear (o descargar de Internet) productos y objetos complejos sin la necesidad de maquinaria industrial costosa. Adicionalmente se especula que RepRap demostrará evolución, así como crecer en cantidades exponenciales. Esto, en teoría le dará a RepRap el potencial de convertirse en una poderosa tecnología disruptiva, similar a otras que han anticipado bajos costos en tecnologías de fabricación.

RepRap está disponible bajo la licencia GNU GPL. Esta licencia permite que podamos copiar, estudiar, distribuir y mejorar sus diseños y código fuente. Tomando como analogía la Teoría de la Evolución de Darwin, la comunidad que trabaja alrededor del proyecto puede mejorar los diseños actuales permitiendo que la máquina evolucione con el tiempo, de una manera incluso más rápida que los animales en la Naturaleza.

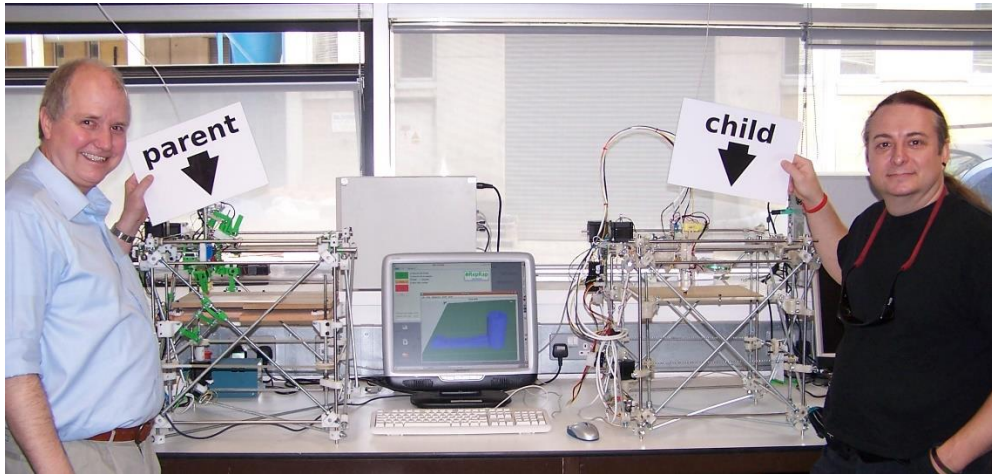


Figura 1.2 Miembros del Proyecto RepRap

En la Figura 1.2 podemos observar que las partes plásticas de la máquina de la derecha fueron producidas por la máquina de la izquierda. En la imagen Adrian Bowyer (izquierda) y Vik Olliver (derecha), miembros del proyecto RepRap.

3.2 Impresoras Operativas

El proyecto RepRap inició con tres modelos funcionales de impresoras 3D, a estas se les dio el nombre de importantes científicos dedicados al estudio de la Biología y la evolución de las especies: Darwin, Mendel y Wallace.

De estos nacieron cada vez más modelos, hasta tener un promedio de 50 impresoras. Algunas de las más relevantes son:

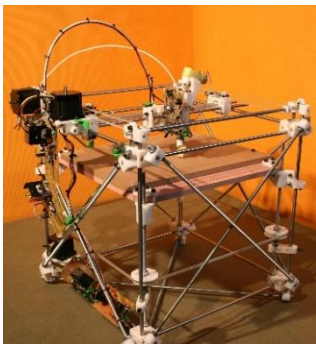


Figura 1.3 Impresora Darwin

a) Darwin: la RepRap 1.0 o “Darwin” es una máquina de prototipado rápido y es capaz de crear la mayoría de sus componentes [4]. Es la precursora de la mayoría de las impresoras 3D de escritorio utilizadas en la actualidad y su información se encuentra de manera pública bajo la licencia GNU GPL.

La Darwin consiste en un marco hecho de varillas y partes impresas. Una plataforma plana se mueve de manera vertical dentro del marco gracias a los motores paso a paso. En la parte superior del marco hay dos cabezales de

escritura que se mueven horizontalmente lo cual les permite extruir una línea delgada de plástico derretido lo cual va permitiendo crear capa tras capa en la plataforma. La plataforma se mueve de arriba hacia abajo, hasta que el objeto solido esta creado.

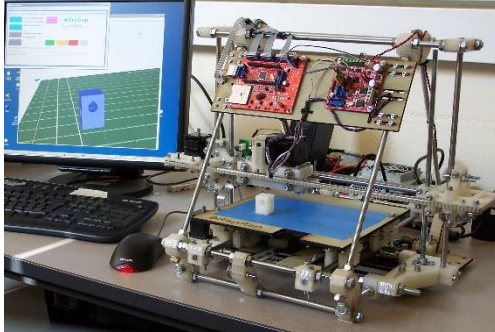


Figura 1.4 Impresora Mendel

b) Mendel: Esta es la segunda y mejorada versión de RepRap, pequeña como para colocarla en el escritorio, pero con un volumen de impresión suficiente para imprimir cosas grandes.



Figura 1.5 Prusa i3

c) Prusa i3: la Prusa i3 (i3 es por ser la tercera iteración del modelo) fue creada por Josef Prusa en Republica Checa. Esta es una de impresoras más utilizadas a nivel mundial, ya que su sencillez ha dado pauta para crear un sinnúmero de variaciones y también es muy sencilla para el mantenimiento y los usuarios tienen una alta disponibilidad de mejoras.

Posteriormente se describirá con más detalle información respecto a esta máquina ya que nuestro trabajo fue basado en este modelo de impresora.



Figura 1.6 Impresora Kossel

d) Delta Kossel: esta máquina originaria del proyecto RepRap y usa el principio de las máquinas tipo delta para crear impresiones en 3D.

La impresora tiene 3 ejes que suben y bajan, moviendo una plataforma central. Esta impresora es la más rápida, porque un pequeño movimiento en el motor, produce un movimiento muy rápido en el extrusor. Además, permite impresiones muy altas. Al principio tenían el problema de que eran difíciles de calibrar, pero hoy en día son muy populares.



Figura 1.7 Impresora R-360

e) R - 360: esta impresora es simple y económica desarrollada el equipo Replicator Warehouse en el Reino Unido. Su diseño modular permite desarmarla para que sea portable, todas las partes son partes imprimibles lo cual es una ventaja ya que si los dueños quieren crear un reemplazo pueden hacerlo sin ningún problema. La R-360 tiene una plataforma rotativa la cual puede ser usada como escáner 3D siendo esta una clara ventaja contra otros modelos de impresoras, sin embargo, un contra es que es una impresora polar lo cual la hace más compleja que modelos como la Prusa i3.

CAPITULO 2

4. Impresora Prusa i3

La Prusa i3 (iteración 3) es uno de los diseños de impresora 3D más nuevo y actual hecho por uno de los desarrolladores principales de RepRap Prusajr. La "i3" incorpora lecciones aprendidas de los dos diseños anteriores de Prusa, así como de otros diseños populares modernos.

La Prusa i3, al contrario que las versiones anteriores, se ha diseñado de forma paramétrica. Es decir, que no tiene unas medidas fijas, sino que podemos adaptarla a nuestras necesidades cambiando un archivo de configuración y volviendo a generar los ficheros STL. Gracias a esto podemos variar las dimensiones de las varillas, cambiar el tipo de rodamiento, etc.

Existen actualmente dos modelos de Prusa i3. La principal diferencia es el tipo de marco que utiliza que puede ser de madera en forma de caja o de algún otro material (aluminio, metacrilato, etc.) en forma de lámina. Las piezas impresas de ambos modelos difieren por lo que es importante decidir primero que tipo de marco vamos a montar.

4.1 Estructura

La estructura de la Prusa i3 consiste en un Eje Y hecho con varillas roscadas similar a las estructuras de las anteriores Mendel y una parte en forma de marco vertical para el eje X y el eje Z. Se puede construir un marco de una sola lámina con metal, o un marco estilo "caja" con madera.

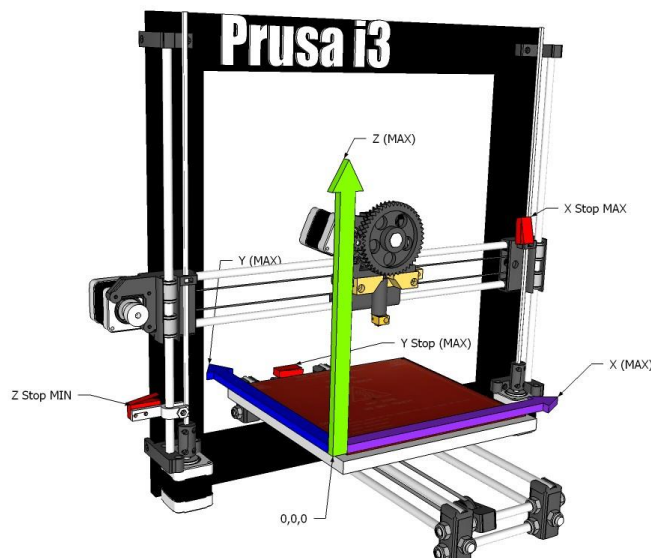

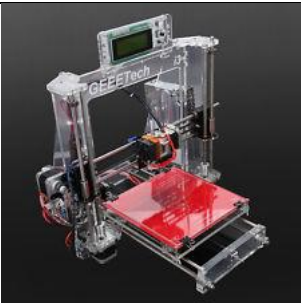


Figura 2.1 Ejes de la impresora

Tabla 4.1
Estructuras Prusa i3

Marco lamina única	Marco estilo caja
	
<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acabado profesional. <p>Inconvenientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requiere herramientas especializadas para su elaboración. • Menos rigidez entre el marco Eje X, Z y el Eje Y. 	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se puede crear con herramientas estándar. • Mayor rigidez entre los ejes. <p>Inconvenientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acabado menos profesional.

En la Tabla 4.1 podemos observar un resumen de las características presentes en cada tipo de impresora tipo Prusa, por lo cual se decidió trabajar con el Marco de lámina única y posteriormente realizarles unas mejoras estructurales las cuales le brindan mayor estabilidad.

4.2 Componentes

Para construir la impresora se utilizaron tres tipos de componentes. Por un lado, tenemos los componentes imprimibles y no imprimibles, por otro lado, están los componentes electrónicos.

Los imprimibles son las piezas que sostienen y conforman la estructura de la impresora. Los denominamos imprimibles porque pueden adquirirse utilizando otra impresora 3D.

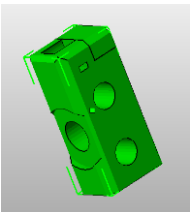
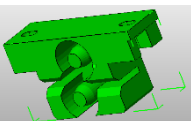
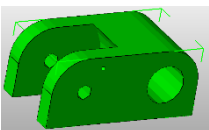
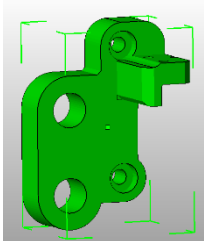
Los no imprimibles por su parte son todo tipo de varillas, tornillos, tuercas, arandelas, madera o metal, etc. Que requerimos para el montaje de la máquina. Y finalmente los componentes electrónicos tenemos motores, actuadores, sensores, motores y demás, los cuales serán descritos más adelante.

4.2.1 Componentes imprimibles

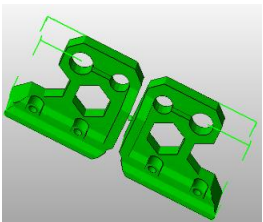
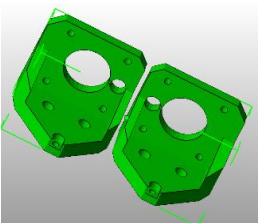
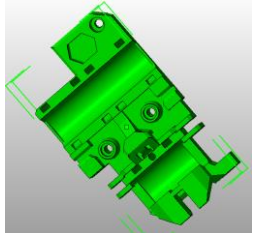
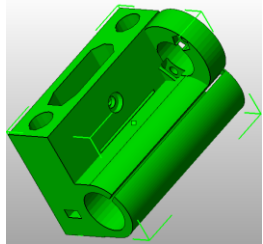
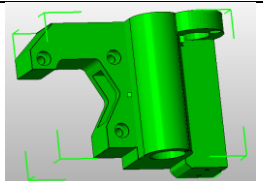
Como hemos mencionado anteriormente, estas son las piezas que utilizamos para ensamblar la estructura de la impresora. En la Tabla 4.2 se describe cada pieza utilizada, se da el nombre de la pieza, una imagen como referencia visual, la cantidad que se necesita de cada tipo y una breve descripción de su función.

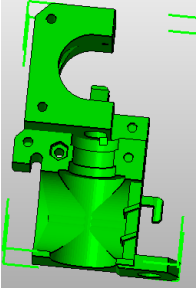
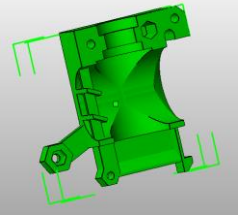
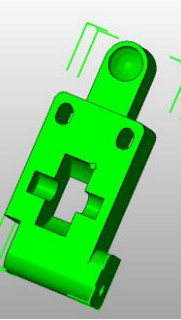
El orden de adquisición no es crítico, pero es importante tener en cuenta el orden en el que aparecen en la Tabla 4.2, ya que esto permitirá ir avanzando más rápido con el ensamblaje de la impresora.

Tabla 4.2
Piezas Impresas Prusa i3

Modelo	Nombre	Cantidad	Comentarios
	Y- Corners	4	Estas piezas nos permiten conectar las varillas roscadas que forman el Eje Y.
	Y - Belt - Holder	1	Esta pieza se atornilla a la base de la cama caliente, de este modo cuando colocamos la correa que permite el movimiento en el Eje Y.
	Y - Idler	1	Extremo frontal por donde pasa la correa en el Eje Y.
	Y - Motor	1	En esta pieza es donde va atornillado el motor del Eje Y y también va el final de carrera que marca la coordenada mínima para el este eje.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D
UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE**

	Z – Axis Top	2	Estos se colocan en la parte superior del Eje Z y funcionan como guía para las varillas tanto lisas como roscadas
	Z – Axis Botton	2	En estas piezas además de estar aseguradas a la parte baja del Eje Z también se le colocan los motores paso a paso que se encargan del movimiento del dicho eje.
	X - Carriage	1	Unidad donde va montada la extrusora.
	X – End Idler	1	Extremo derecho del Eje X.
	X – End Motor	1	Extremo derecho del Eje X donde va instalado el motor.

	Extruder -Body	1	En esta parte es donde empotramos motor, el Hotend y el sensor para nuestra extrusora.
	Extruder – Cover	1	Esta es parte esencial ya que con ella se complementa el extrusor y a la vez va ensamblado el ventilador de capa.
	Extruder – Idler	1	Guía para el filamento




4.2.2 Componentes no imprimibles

Este grupo de componentes, como se explicó anteriormente, engloba material de ferretería, tales como tornillos, arandelas, tuercas de diversas medidas, varillas roscadas y lisas, balineras, correas dentadas, madera, bridas etc.

Tabla 4.3

Piezas Mecánicas Prusa i3

Imagen	Pieza	Cantidad	Comentarios
	Correas GT2 abiertas, 5mm de ancho.	2 metros	Las correas GT2 son las que se usaban en la Prusa 1, se tiene mayor precisión.
	Poleas GT2 metálicas.	2	También se pueden imprimir, estas van acopladas a los motores en los Ejes X y Y.
	Balineras Lineales LM8UU	10	Se necesitan 3 para el Eje X, 3 para el Eje Y, 4 para el Eje Z. Opcionalmente se puede poner uno más en el Eje y. Existen también carros del Eje x que vienen con 4.
	Balineras 623ZZ blindados	2	Se necesitan 1 para el eje Y, 1 para el eje X.
	Rodamientos 625ZZ	1	Se utiliza 1 para el extrusor lo cual permite al paso del filamento al Hotend.
	Varilla roscada M8 y M10	1 metro M8 1 metro M10	Las varillas hay que cortarlas posteriormente. Se necesitan 4 de 18cm y 2 de 49,2cm para el eje Y. No importa si sobrepasan las medidas.

	Varilla roscada M5 1m largo	1	Las varillas hay que cortarlas posteriormente. Se necesitan 2 de 39 cm para el eje Z. No importa si sobrepasan las medidas.
	Varillas lisas M8 de acero inoxidable (1m de largo)	3	Si se compran por metros, hay que cortarlas posteriormente. Se necesitan 2 de 49,5cm para el eje X, 2 de 47cm para el eje Y y 2 de 42cm para el eje Z. El extrusor necesita 1 de 8mm.
	Marco de madera o aluminio	1	Base y marco de la impresora.

4.2.3 Componentes Electrónicos

Una vez que tenemos los componentes estructurales de nuestra impresora procedimos a la selección de los componentes electrónicos, puesta en marcha de estos y pruebas iniciales.

En este apartado se describirán los componentes que fueron utilizados para nuestra impresora 3D. Así pues, en primer lugar, se describe el controlador utilizado para este trabajo monográfico, continuaremos con los componentes, y al final se presenta un diagrama conexiones.

a) Arduino Mega: Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo Open-Source construida con un microcontrolador Atmega2560 el cual es ampliamente utilizado en el mundo de la impresión 3D, posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales [5]. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc.

Las principales características de esta plataforma son:

- Voltaje de entrada de 7 a 12 voltios.
- Microcontrolador ATmega2560.

- Velocidad de reloj de 16 MHz.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida de los cuales 14 pines son salidas PWM⁴.
- 16 pines analógicos.
- 256k de memoria flash.

Arduino Mega incorpora todo lo necesario para que el microcontrolador funcione, ya sea mediante un cable USB o una fuente de alimentación externa. La gran mayoría de los controladores para impresoras 3D utilizan este microcontrolador ya que facilita la creación de electrónica embebida para esta tarea.

b) RAMPS 1.4: Las siglas RAMPS, provienen de “RepRap Arduino Mega Pololu Shield” y como su nombre lo indica es un escudo de conexiones que nos permite crear el acoplamiento entre los módulos de la impresora. La RAMPS expande el Arduino Mega con todas las características y requisitos que vamos a necesitar para nuestra impresora 3D.

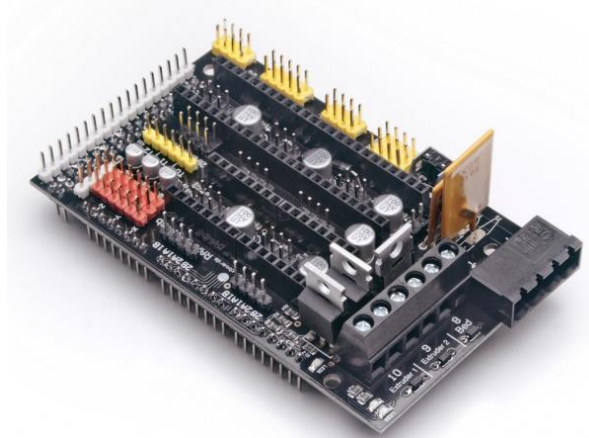


Figura 2.2 Shield RAMPS 1.4

Esta tarjeta nos permite controlar dos extrusores, montaje de los drivers necesarios para cada eje, además que deja a disposición los pines que no son utilizados los cuales pueden ser aprovechados como módulos de expansión.

La RAMPS 1.4 está diseñada para trabajar con la plataforma Arduino Mega. Esta tarjeta se va ensamblando por partes, la RAMPS se monta sobre el controlador y sobre esta se montan los drivers de los motores paso a paso, los sensores de temperatura, ventiladores, LCD, etc.

c) Drivers Pololus: El componente necesario para mover correctamente los motores se denomina Driver y es específica para cada tipo de motor. Se encarga de recibir las señales de control de la placa base de la máquina y mandar esa orden a los motores en forma de señal eléctrica con la forma y potencia adecuada.

⁴ Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso)

Los drivers para motores paso a paso mueven al motor un número exacto de pasos, y algunos son capaces de enviar subdivisiones de paso completos, llamadas micropasos. Los micropasos aumentan la suavidad y resolución de los movimientos de los motores. No tanto la precisión, como podría pensarse.

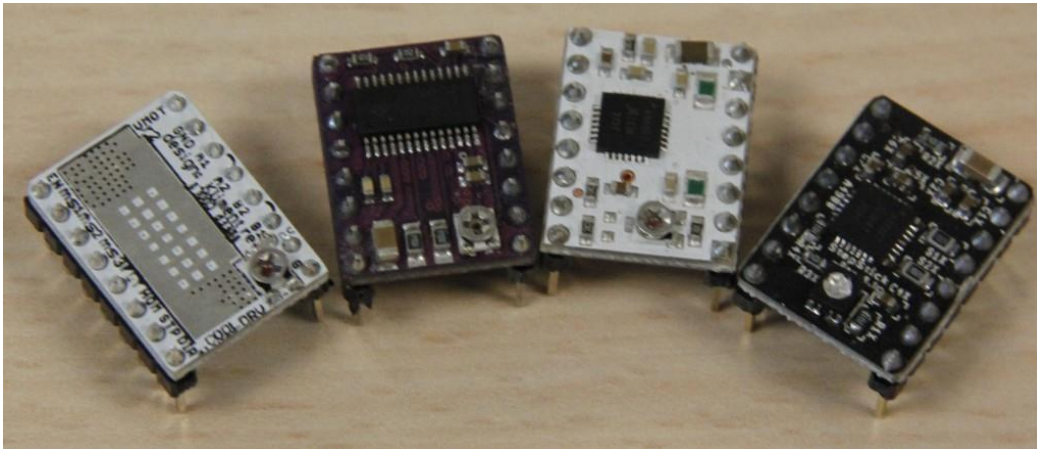


Figura 2.3 Drivers típicos utilizados en impresoras 3D FDM

Los drivers a los que se hace referencia son muy básicos, una pequeña placa electrónica con dos únicas tareas:

- Aportar la potencia necesaria para el movimiento del motor desde una fuente de voltaje externa.
- Enviar esa potencia con la forma de onda adecuada al motor en cuestión, en función de las órdenes que va enviando la electrónica.

Entre los drivers más comunes se encuentran los basados en el chip A4988 y los basados en el DRV8825 [6]. Ambos comparten características comunes de estar diseñados para controlar motores paso a paso bipolares, exclusivamente. Por esa razón solo cuentan con cuatro salidas de control.

d) Motores Paso a Paso: Son un tipo de motor eléctrico con las siguientes características:

- No permite grandes velocidades de giro a diferencia de otros tipos de motor.
- Permite posicionamiento preciso de manera sencilla (sin necesidad de un bucle cerrado).
- Normalmente se controlan en bucle abierto.
- Su control es más complejo que el de otros motores. No son motores de corriente continua ni de corriente alterna. Son otro tipo y no basta con conectarlos a una fuente de voltaje continuo o alterno. Hay que mandarles otro tipo de señal.



Figura 2.4 Motor Paso a Paso NEMA 17

Dentro de los motores paso a paso tenemos de varios tipos. Por ejemplo, los que pueden controlarse solamente con señales positivas son unipolares y suelen tener entre cinco a ocho cables. Los bipolares tienen más par motor y mismo tamaño que los unipolares, pero generalmente necesitan un control más complejo con corrientes en ambas direcciones, es decir, señales positivas y negativas (AC). Solo tienen cuatro cables de control (los dos extremos de las dos bobinas internas).

Todos los motores paso a paso tienen una característica en común, y es que su movimiento se realiza en intervalos fijos llamados pasos. Por ejemplo, un motor de 1,8°/paso girará 1,8° cada vez que se le mandemos avanzar un paso, o 200 pasos por cada vuelta completa.

Cabe destacar que este tipo de motores no son solamente utilizados en la impresión 3D, sino en la gran mayoría de máquinas CNC⁵. Se utilizan porque ofrecen las características buscadas en el movimiento de este tipo de máquinas, que son las siguientes:

- Precisión y repetibilidad en los movimientos.
- Control electrónico sencillo gracias a los drivers.
- Buena cantidad de par motor en un motor pequeño.
- No necesitan gran velocidad de rotación en los motores, puesto que van a convertir la rotación a movimiento lineal de baja velocidad.
- Consumo eléctrico adecuado.

e) Termistores: Un termistor es un elemento de detección de temperatura compuesto por material semiconductor sinterizado que presenta un gran cambio en la resistencia en proporción a un cambio pequeño en la temperatura [7]. Los termistores tienen coeficientes de temperatura negativos, lo que significa que la resistencia del termistor disminuye a medida que aumenta la temperatura.

⁵ Computer Numerical Control (Máquina por control computarizado)

La palabra termistor procede del término, *THERMally sensitive resisISTOR* (resistor térmicamente sensible) y constituye un sensor muy preciso y rentable para medir la temperatura. Están disponibles en 2 tipos: NTC (coeficiente de temperatura negativo) y PTC (coeficiente de temperatura positivo); aunque el NTC es el termistor que se utiliza comúnmente para medir la temperatura.

Los termistores se fabrican con una mezcla de metales y materiales de óxido metálico. Una vez mezclados, los materiales se conforman y se hornean en la forma requerida. Los termistores pueden utilizarse tal cual, como termistores tipo disco, o seguir dándoles forma y montándolos con cables conductores y revestimientos para formar termistores tipo perla.

Las razones de que los termistores sigan siendo populares para medir la temperatura son:

- Su mayor cambio de resistencia por grado de temperatura proporciona una mayor resolución
- Alto nivel de repetibilidad y estabilidad
- Excelente capacidad de intercambio
- Tamaño pequeño que supone una respuesta rápida a los cambios de temperatura

La resistencia base en los termistores NTC reduce la resistencia según aumenta la temperatura. Esto también se aplica a la cantidad de cambio de resistencia por grado que proporcionará el termistor. Las aplicaciones a temperatura relativamente baja (de -55 °C a aprox. 70 °C) usan, en general, termistores de resistencia más baja (de 2252 a 10 000 Ω). Las aplicaciones de temperatura más alta usan, en general, los termistores de resistencia más alta (por encima de 10 000 Ω) para optimizar el cambio de resistencia por grado a la temperatura requerida. Los termistores están disponibles con una variedad de resistencias y «curvas».

Resistencia en comparación con curva de temperatura

A diferencia de los RTD⁶ y los termopares, los termistores no tienen estándares asociados a su resistencia en comparación con las características de temperatura o curvas. En consecuencia, hay una gran variedad para elegir. Cada material del termistor proporciona una resistencia diferente en comparación con la «curva» de temperatura. Algunos materiales ofrecen una mejor estabilidad, mientras que otros tienen resistencias más altas, por lo que se pueden fabricar en termistores más grandes o más pequeños.

⁶ Resistance Temperature Detector (Detector de Temperatura Resistivo)

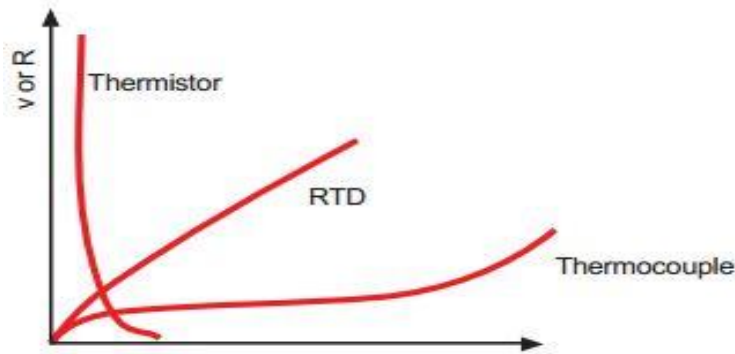


Figura 2.5 Curva de Comportamiento del Termistor

Muchos fabricantes indican una constante beta (B) entre 2 temperaturas (ejemplo: $[30/50 = 3890]$). Esto, junto con la resistencia a 25 °C (77 °F), se puede utilizar para identificar una curva de termistor específica.

Tipos de termistor

- **Elementos termistor:** El elemento de termistor es la forma más sencilla de termistor. Debido a su tamaño compacto, los elementos de termistor se usan normalmente cuando el espacio es muy limitado. Debido a que los termistores son no lineales, el instrumento que se usa para leer la temperatura debe linearizar la lectura.



Figura 2.6 Elemento Termistor

- **Sondas termistor:** El elemento de termistor autónomo es relativamente frágil y no se puede poner en un entorno agresivo. Las sondas de termistor son mucho más adecuadas para entornos industriales que los elementos de termistor. Respecto a la estabilidad del termistor, los elementos de los termistores acabados son químicamente estables y no se ven significativamente afectados por el envejecimiento.



Figura 2.7 Sonda Termistor

Una vez que se han establecido la resistencia y la «curva» correctas, el usuario debe tener en cuenta cómo se va a utilizar el termistor. A la hora de seleccionar el tamaño o encapsulado correctos para el termistor, es útil recordar que un termistor, como cualquier otro sensor, solo mide su propia temperatura.

En general, las cápsulas de termistor no están diseñadas para la inmersión directa en un proceso. Son dispositivos pequeños que cambian de temperatura muy rápidamente, ya que lo único que les separa del entorno es un fino revestimiento de epoxi.

f) Heated Bed: La cama caliente (HBP por sus siglas en inglés) mejora la calidad de la impresión ayudando a prevenir la deformación o warping. Cuando el plástico extruido se enfría, se contrae ligeramente. Si este proceso de contracción no se produce de forma uniforme, el resultado es una deformación. Esto se puede ver normalmente cuando las esquinas se despegan de la base. Imprimiendo con una cama caliente ayuda a que el plástico permanezca pegado a la base durante el proceso y reduce incluso la contracción del plástico cuando baja de su punto de fusión. La cama caliente da en general mayor calidad con materiales como ABS⁷ y PLA⁸.

Actualmente se pueden encontrar diseños prefabricados y producidos en serie, como el que se muestra en la imagen de a continuación.



Figura 2.8: Cama Caliente MK2B

Aislamiento térmico

Independientemente de los materiales utilizados, la cama caliente debe ser aislada térmicamente de manera que no se fundan o ablanden las piezas de plástico debajo de la cama. Los materiales aislantes más utilizados son cartón, lana y tela de algodón. La cama caliente también puede ser montada directamente en una plataforma de madera, sin efectos negativos notables. La lana puede ser una buena opción para el aislamiento porque su temperatura de ignición es de 600°C.

⁷ Acrylonitrile butadiene styrene (Acrilonitrilo butadieno estireno)

⁸ Polylactic acid (Ácido poliláctico)

También es aconsejable aislar la cama por debajo para mantener el calor. Eso hace que alcance la temperatura deseada más rápido y que la electrónica sufra menos. El método más económico y sencillo es usar una lámina de corcho fijada con cinta kapton.

Alimentación

La HBP necesita alrededor de 6A para funcionar (12 voltios de más de 2 ohmios) y el cable necesita aguantar esta potencia. El tamaño mínimo recomendado para esta cantidad de corriente es cable de calibre 20. El cable de una lámpara (18 a 14 AWG), el de automoción, y algunos cables de altavoces pueden soportar esta cantidad de corriente. Además, debe aceptar un poco de flexión (el cable sólido no es recomendado aquí), y que pueda ser expuesto a 100° (alrededor de la temperatura máxima de la cama) sin degradación.

Se pueden utilizar tramos cortos de cable recubierto de teflón, o un cable similar resistente al calor, para cerrar la conexión entre un cable sensible al calor (por ejemplo, cable de lámpara) y la plataforma de la cama caliente. El uso de un cable excesivamente delgado puede causar daños en tu equipo e incluso fuego y cortocircuitos.

g) Extrusor: Es la pieza que toma el filamento de la bobina y la deposita sobre la superficie de impresión de forma totalmente precisa, y acorde a los parámetros de impresión que lee la impresora desde el archivo GCODE, para generar capa a capa la pieza que has diseñado con anterioridad [8].

El extrusor es un elemento que está compuesto de varias piezas y puede ser muy diferente de una impresora a otra, incluso puede ser diferente entre dos impresoras iguales ya que, en principio, se podría cambiar y adaptar según la impresora, el extrusor y la electrónica de cada una. En este conjunto de piezas encontrarás básicamente:

- **Motor paso a paso:** este motor se utiliza para el empuje del filamento desde la zona por donde entra desde la bobina hasta que sale por la boquilla para ser depositado el material de impresión sobre la pieza en construcción. Este motor va controlado por la electrónica de la impresora y gira en pequeños pasos precisos para que salga la cantidad exacta de material.
- **Engranaje de tracción:** se trata de la pieza que va sobre el eje del motor paso a paso, como una polea, con dientes o líneas longitudinales alrededor del

borde exterior cuya función es traccionar sobre el filamento para que éste se desplace según el motor paso a paso gire.

- **Engranaje reductor:** en algunos casos se utiliza un engranaje de diámetro superior al que va en el eje del motor con la finalidad de aumentar la fuerza aplicada sobre el filamento para el arrastre. En este caso, el engranaje que toca de forma directa el filamento es éste y el del motor transmite el giro del mismo para que también lo haga el reductor.

- **Rodamiento de presión:** es un rodamiento simple y sencillo que presiona el filamento sobre el engranaje de tracción para que ésta no se pierda y el filamento se desplace acorde a lo que la impresora ordena al extrusor.

- **Guía del filamento:** es un tubo simple que guía el filamento de forma recta desde el motor hasta el hotend. Este tubo tiene el diámetro justo para que pase el filamento sólido en dirección al hotend.

- **Hotend:** este es el elemento que calienta el filamento y lo derrite para que salga de forma lo suficientemente líquida por la boquilla del extrusor. Se trata de un tubo vertical por el cual pasa el filamento aun sólido y por fuera éste se calienta para que la temperatura llegue a la parte interior y afecte correctamente al filamento.

- **Sensor de temperatura:** como bien dice su nombre, este elemento se encarga de medir la temperatura y pasarle el dato leído al sistema de control de la impresora para que se lleve a cabo el correcto control de la temperatura del extrusor, que será la temperatura a la que sale el filamento por la boquilla.

- **Boquilla de salida:** esto es simplemente un cono donde va llegando el material caliente (derretido) por su parte más ancha, se acumula y mantiene caliente, y sale por un pequeño agujero en su parte más pequeña.

Hasta aquí se puede decir que “todos los extrusores son iguales”, y en principio así es. Cuentan con los mismos elementos, aunque según el extrusor las medidas pueden cambiar (hay filamentos de 1.75 y 3 mm de diámetro y boquillas de 0.4 y 0.8 mm entre otras medidas). También existen dos formas de extrusión, la extrusión directa y la extrusión Bowden.

Extrusión directa

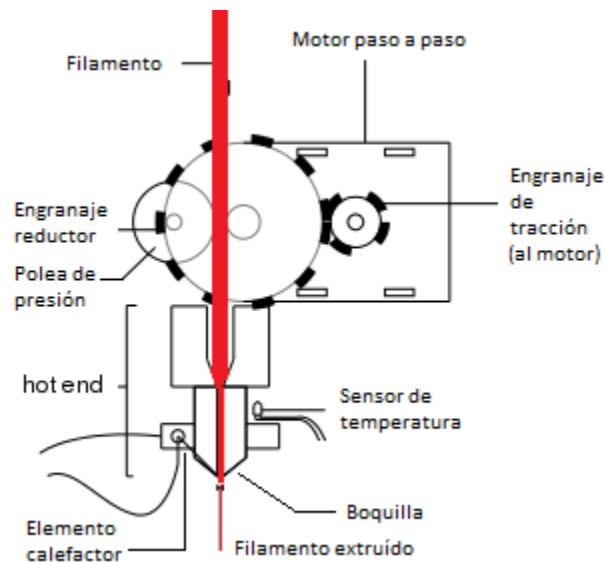


Figura 2.9 Extrusión Directa

El sistema de extrusión directa es el más simple que existe y es muy efectivo, muy recomendable para la iniciación en la impresión 3D. En esta forma de extrusión se pasa el filamento de forma directa desde el motor de arrastre hasta la boquilla pasando por el hotend previamente. Aquí el conjunto del extrusor es una sola pieza (desmontable, claro está), compacta y más sencilla.

Entre sus ventajas se pueden nombrar:

- Extrusor compacto.
- Fácil comprobación de avería o resolución de atasco.
- Totalmente desmontable.

Pero, como todo, también tiene sus inconvenientes:

- El conjunto es más pesado y eso afecta al desplazamiento de los ejes X y Z.

Extrusión Bowden

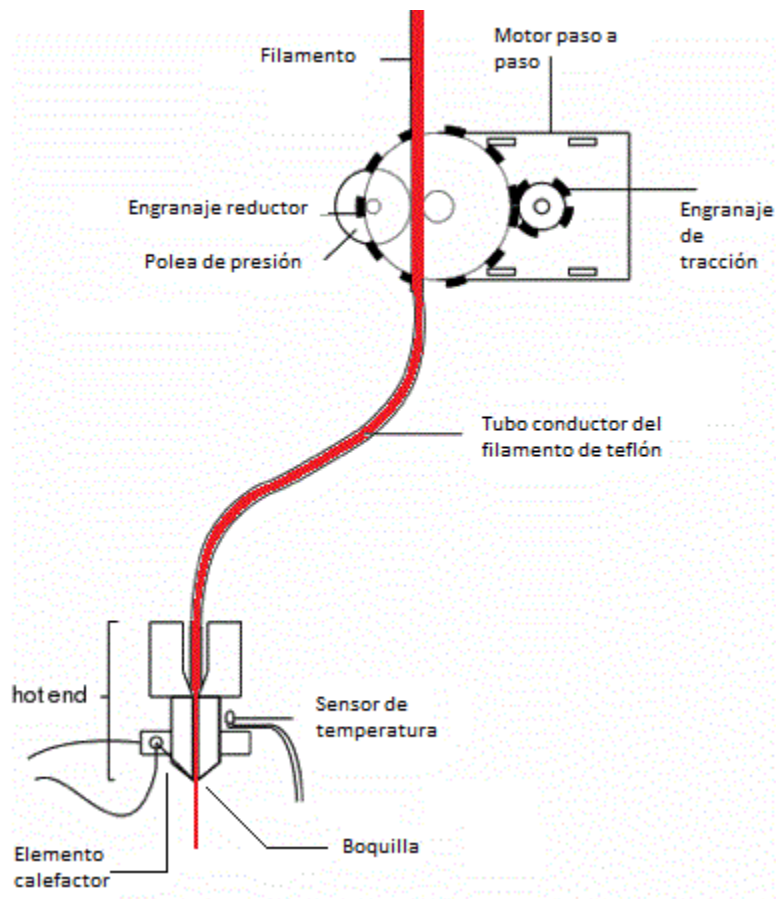


Figura 2.10: Extrusión Bowden

La extrusión Bowden es el otro tipo de extrusión existente. Es similar a la extrusión directa en cuanto a elementos y a cómo se lleva el filamento de la bobina hasta la punta de la boquilla salvo en que el motor de empuje está separado del hotend y el filamento es llevado hasta el carro del eje X mediante una tubería flexible.

El término Bowden se refiere a la funda de los cables de freno de las bicicletas en inglés y esa es precisamente la característica principal de este sistema.

Como ventajas se puede mencionar que:

- Al estar separado el motor del hotend, éste es el único que está sobre el carro del eje X y por lo tanto se le añade menos peso al mismo.
- Al poseer menos peso sobre sí el carro del eje X se desplaza con menos dificultad
- Al utilizarse sobre el carro sólo el hotend éste puede ver su tamaño reducido sensiblemente.
-

Y entre sus inconvenientes se podría mencionar que:

- Es un sistema más complejo de montar y mantener.

- En principio es más susceptible a fallos (más sensible).
- Tiene más posibilidades de sufrir exudación.

g) Finales de carrera: Las impresoras 3D necesitan conocer, desde el arranque, su posición (0,0,0) para poder ubicarse correctamente durante la impresión. Esto lo conseguimos usando los finales de carrera o "endstop", los cuales indican a la impresora 3D dónde se ubica la posición de partida (home) y de esta manera calculará los máximos desplazamientos permitidos en los 3 ejes. Existen varios modelos, desde los más sencillos, los finales de carrera mecánicos, pasando por los ópticos e incluso los de tipo inductivo y capacitivo, entre otros.

Los finales de carreras podemos encontrar de 2 tipos, los que están formando parte de una placa y los típicos finales de carrera que tienen 3 pines para realizar los contactos en NA (normalmente abiertos) y NC (normalmente cerrados).

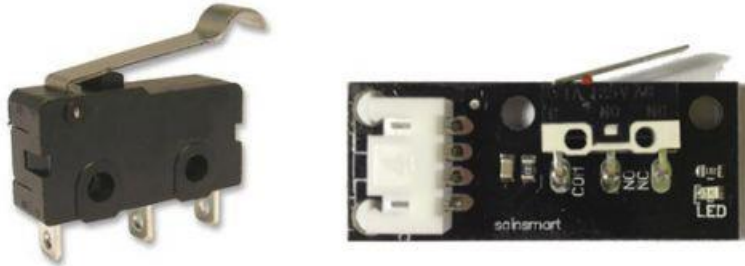


Figura 2.11 Finales de Carrera

5. Tipos de software involucrados en la Impresión 3D

Para poder imprimir un modelo en una impresora 3D es necesario generar antes el archivo con formato STL (Estereolitografía). Este formato de archivos es el que prácticamente todos los programas de control de impresoras 3D aceptan. Entre los conocidos para este tipo de tareas tenemos los siguientes.

5.1 Diseño Asistido por Computadora CAD

5.1.1 SketchUp

Una de las herramientas de modelado 3D gratuitas ligeramente más avanzada es SketchUp, originalmente propiedad de Google. Se inicia con una interfaz sencilla, pero integra, una amplia gama de complementos y herramientas funcionales.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE

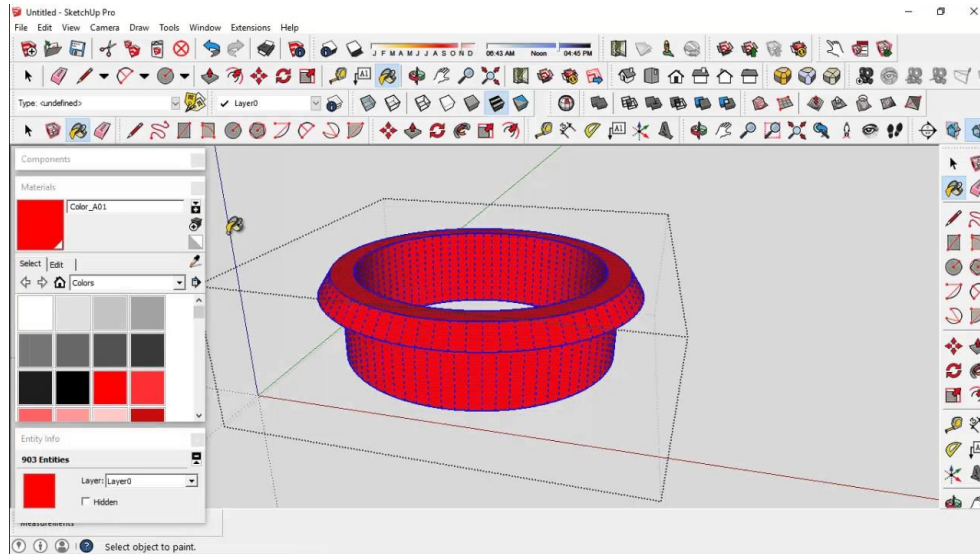


Figura 2.12 Modelado 3D SketchUp

SketchUp es una mezcla perfecta entre simplicidad y funcionalidad, con una interfaz fácil y un proceso de aprendizaje relativamente simple, lo que lo convierte en el software de impresoras 3D ideal para diseñar modelos de impresiones 3D. orientada a diseñadores, arquitectos e ingenieros cuenta con una versión gratis la cual podemos descargar desde su sitio web.

5.1.2 Fusion 360

Es uno de los programas más populares entre la comunidad de impresión 3D, especialmente para aquellos interesados en el diseño industrial. Combina funcionalidades de gran alcance con una interfaz amigable para principiantes y una curva de aprendizaje relativamente fácil.



Figura 2.13 Modelado avanzado Fusion360

Fusion 360 es una herramienta de programa de CAD 3D profesional creada por 3D Autodesk. A diferencia de otras herramientas profesionales de modelado 3D de cuerpo sólido, es excepcionalmente fácil de usar, al tiempo que abarca todas las etapas del diseño 3D: planificación, prueba y ejecución.

Este software de impresoras 3D tiene potentes herramientas de análisis paramétrico y de malla perfectamente adaptadas a la mayoría de los desafíos del diseño industrial. Además, es capaz de simular tanto el proceso de construcción de componentes como las presiones a las que se enfrentarán una vez que se hayan mecanizado y utilizado. Fusion 360 también se distingue por ofrecer funciones colaborativas sofisticadas. Ofrece intercambio de archivos en la nube, control de versiones y la importación y exportación de archivos CAD en los formatos más comunes.

Fusion 360 tiene un excelente soporte para la impresión en 3D. Los archivos CAD se pueden importar directamente en Autodesk Printing Studio. Aunque técnicamente se trata de un programa comercial, Fusion 360 es en realidad un software gratuito de CAD para estudiantes y profesores, por lo que puede solicitar una licencia para el sector educativo válido por 3 años.

5.1.3 Blender

Blender es un popular software de impresoras 3D de diseño asistido por equipos informáticos (CAD) que requiere un proceso de aprendizaje complejo. No es la mejor opción para los novatos, pero es ideal para cuando hayas desarrollado bien tus habilidades y necesitas programas más sofisticados para modelar impresiones 3D.

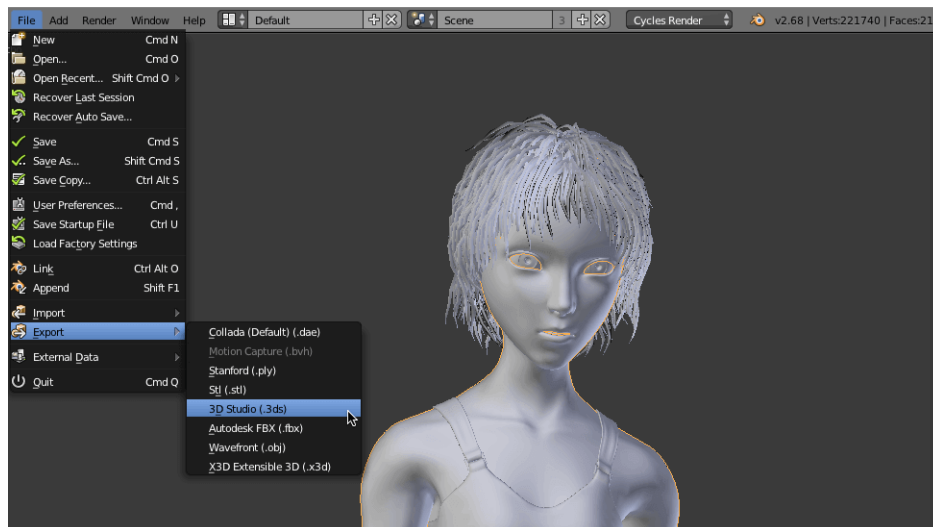


Figura 2.14 Interfaz Blender

En pocas palabras, Blender es una de las herramientas más poderosas que se pueden utilizar. Cuenta con una comunidad muy servicial y una enorme cantidad de tutoriales. Y es de código abierto, así que a menudo se escriben extensiones para mejorarlo y enriquecerlo.

5.2 G-CODE

El G-Code (o código G, en español) es el nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por ordenador (CNC) que puede ser usado también como lenguaje de programación para controlar estos dispositivos para simplificar operaciones utilizando, por ejemplo, bucles [9].

Las instrucciones para ir disponiendo el material fundido y construir la forma del modelo se suelen describir usando G-Code, que es un lenguaje de programación con el que se expresan las ordenes que debe ejecutar la impresora 3D.

La impresora 3D puede conectarse directamente a un ordenador, pero también es posible imprimir leyendo las instrucciones, el G-Code, directamente de una tarjeta de memoria conectada a la máquina y en la que se habrá grabado desde el programa del ordenador que lo calcula a partir del modelo tridimensional. También es posible imprimir enviando el G-Code desde un ordenador que no disponga de programas de proceso 3D, lo que permite dedicar un pequeño servidor en la red a esa tarea sin necesidad de instalarle esas aplicaciones; otros ordenadores en la red le enviarán las instrucciones creando una cola de impresión 3D como se haría con la impresión convencional. Como las impresoras 3D más modestas requieren cierto proceso manual (como preparar la cama o retirar la pieza impresa) además de necesitar un tiempo considerable para construir el objeto, calcular el G-Code e imprimirlo desde la propia máquina (que suele estar en otro ambiente de trabajo) es un método perfectamente aceptable.

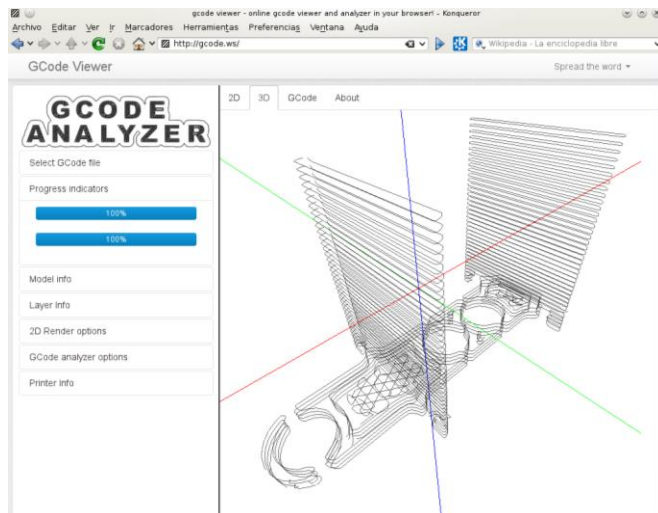


Figura 2.15 Ejemplo de Código G

Tabla 5.1

Algunos comandos del Código-G

Comando	Descripción
M114	Leer posición actual
G28	Llevar todos los ejes al origen
M115	Obtener información sobre el firmware
G1 X50	Ir a posición (50, 0, 0)
G1 X0	Ir a posición (0, 0, 0)
G1 X50 F6000	Ir a posición (50, 0, 0) a la velocidad de 6000mm/min (100mm/sec)
G1 X50 Y50	Movimiento de dos ejes. Ir a la posición (50, 50, 0)
G1 X100 Y100 Z30	Ir a posición (100, 100, 30). Todos los ejes se mueven a la vez. También paran a la vez
M104 S200	Ajusta temperatura del hotend, en este caso a 200°C
M140 S80	Ajusta temperatura de la cama, en este caso a 80°C

5.3 Laminadores o Slicers

En esta cadena de software podemos distinguir, en primer lugar, los programas necesarios para los trabajos de preparación y laminación de modelos 3D previos a su impresión y, en segundo lugar, los programas de control de impresión, también conocidos como programas Host para impresión 3D.

El software de control se instala en un equipo externo conectado a la máquina, generalmente un PC y vía USB, el cual recibe la denominación de Host de impresión. Mediante este software el usuario puede controlar y monitorizar, en tiempo real, tanto el estado de la impresora 3D como el de una impresión en curso.

5.3.1 Repetier-Host

Repetier-Host es un programa que comenzó a tener fuerza entre la comunidad de usuarios de máquinas RepRap durante el año 2012. Este software, de código abierto estaba desarrollado por Hot-World GmbH (empresa alemana), el firmware para impresoras 3D FFF llamado Repetier-Firmware. Presentaba un aspecto más profesional en estética y funcionalidades que cualquiera otro programa, y su interface ha ido puliéndose a medida que se liberan nuevas versiones.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE

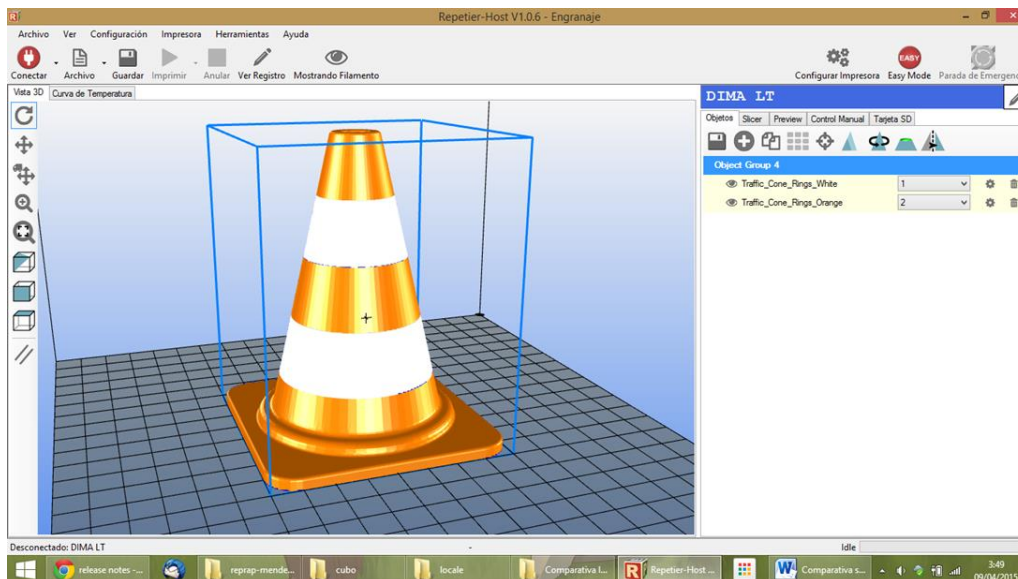


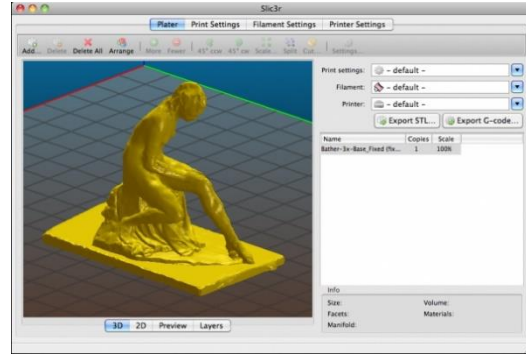
Figura 2.16 Ventana Principal Repetier-Host

Repetier-Host incluye funciones no vistas previamente en programas similares, como el acceso a parámetros internos del firmware de la máquina conectada, una interfaz 3D muy cómoda para la preparación del trabajo de impresión, opciones para el manejo de modelos multiextrusor, integración con numerosos programas de laminación diferentes out-of-the-box, un visualizador 3D del fichero G-code, entre otros.

Repetier-Host se mantuvo como de código abierto hasta la salida de la versión 1.0.0, en la cual los desarrolladores de la empresa cerraron el código, quejándose de la falta de colaboración de la comunidad en su programación. Repetier-Host es el programa más utilizado, debido a su aspecto profesional y fácil uso lo han convertido en el favorito de mucha gente. Su facilidad de integración con Slic3r (el laminador más utilizado) y otros laminadores contribuyen también a su éxito.

5.3.2 Slic3r

De Slic3r es la herramienta para convertir un modelo digital 3D en la impresión de las instrucciones para su impresora 3D. Corta el modelo en las rebanadas horizontales (capas), genera toolpaths para llenarlos y calcula la cantidad de material que se sacará [10].



Ofrece objetos coloreados hermosos de la impresión, o utiliza su estirador secundario para construir el material de ayuda, lee archivos de STL, de AMF y de OBJ mientras que puede hacer salir el G-código y los archivos de SVG, transferencia directa, doblar teclado y gozar, usted puede elegir imprimir un relleno más grueso para beneficiar de alturas bajas de la capa en perímetros y todavía para guardar su tiempo de la impresión dentro de una cantidad razonable, y maneja las impresoras múltiples, los filamentos y los estilos de la estructura.

5.3.3 CURA

Cura es un software de laminado para procesar los archivos de diseño en 3D y hacer el 'slicing', es decir, generar cada capa que será fabricada por la impresora 3D, de forma que obtenemos un archivo GCode que será enviado a nuestra impresora 3D. Dispone de opciones avanzadas para el control del relleno y las velocidades de movimiento, impresión y retracción, así como de un modo para usuarios novatos.

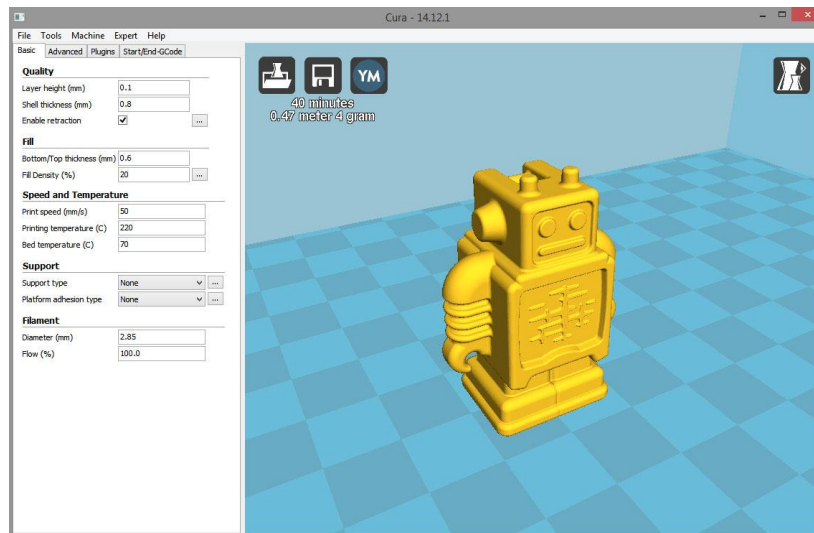


Figura 2.18 Interfaz CURA

5.3.3 Craftware

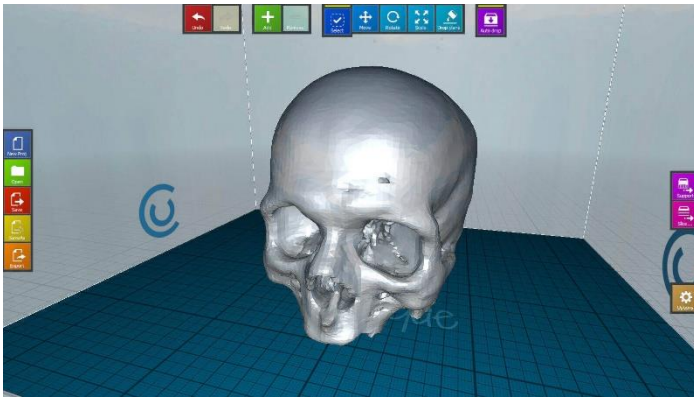


Figura 2.19 Modelo en Craftware

Craftware es otro software para impresoras 3D desarrollado internamente por un fabricante de impresoras 3D (en este caso la startup húngara CraftUnique) para respaldar a su impresora 3D CraftBot financiada a través de crowdfunding. Sin embargo, también lo pueden usar otras impresoras 3D.

Al igual que pasa con Cura, la aplicación CraftWare se puede seleccionar en modo “fácil” y “experto”, según tu nivel de confianza. Es una aplicación rápida, con una visualización GCode espectacular, donde cada característica aparece en un color diferente. Pero la verdadera característica a destacar es el soporte a la gestión individual. Que nosotros sepamos, esto tan solo está disponible en la aplicación de pago Simplify3D.

5.4 Marlin, firmware para Impresión 3D

El firmware es el programa que se instala en el controlador de la impresora. El firmware es el enlace entre el software y el hardware, y se encarga de interpretar los comandos del archivo que contiene el código-G y controla la secuencia del movimiento.

En él se describen las características de la impresora, por ejemplo, las dimensiones o los ajustes térmicos y es por esto que juega un papel tan importante en la calidad de la impresión [10].



Figura 2.20 Logotipo Marlin FW

Marlin es el programa que tienes que instalar en tu placa sea Arduino o una basada en el controlador Atmega 2560 para controlar la impresora. Una vez que lo instalas en tu placa, Marlin puede leer los programas de GCODE desde el puerto serie, o desde una tarjeta SD. Es un firmware que está muy tuneado para las impresoras 3D. Está diseñado para controlar los movimientos de los motores paso a paso y del extrusor de tal forma que el resultado de la impresión sea perfecto. Lo que hace Marlin es leer la lista de comandos G-CODE, línea a línea, y va convirtiendo cada comando en los pulsos necesarios para mover los motores paso a paso.

El origen de Marlin está en el conocido firmware para máquinas CNC, el GRBL. Es una versión extendida, con soporte para los extrusores, cama caliente, pantallas LCD y todo lo que necesita una impresora 3D.

Al usar una placa con un microprocesador, la impresora puede funcionar independiente de un PC. Marlin se instala en la memoria interna del chip, y tiene todo lo necesario para controlar la impresora sin estar conectado al ordenador.

Marlin tiene un sistema avanzado para controlar la temperatura del extrusor y de la cama caliente de forma precisa. Con esto vas a poder controlar la calidad del plástico en la impresión.

Y, además, incluye muchos sistemas de seguridad, que pueden evitar situaciones peligrosas. Por ejemplo, si el sensor de temperatura se estropea, Marlin lo detecta y detiene todo en plan emergencia, en vez de continuar calentando el extrusor (que puede causar una desgracia si no estás vigilando la impresora).

Marlin está pensado para chips de la familia AVR 8 bits de Atmel. La mayoría de las placas para impresoras 3D incluyen algún chip de este tipo.

La placa más conocida es la RAMPS 1.4, pero hay otras placas que también soportan el Marlin. En el fondo, lo que diferencia una placa de otra son los pines de entrada/salida, el número de dispositivos, y los protocolos de comunicación. Pero el núcleo es el mismo. Lo mismo ocurre con las pantallas LCD. Lo que cambia es el protocolo de comunicación entre la pantalla y el chip. Pero el menú, las opciones, la información, es la misma para todos los modelos.

A continuación, se mencionan las características fundamentales de Marlin:

1- Tiene la comunidad más activa de desarrolladores: Marlin es el firmware por defecto en la mayoría de impresoras 3D. Tiene una comunidad muy activa, y una base enorme de usuarios.

2- Entiende comandos G-CODE: Marlin puede interpretar casi todos los comandos de movimiento del G-CODE. Desde luego los usados en las impresoras 3D. Además de eso, incluye una cantidad enorme de comandos de control (que tienen el prefijo M). Puedes acceder a todas las funciones de la impresora a través de estos comandos.

3- Se comunica con el PC por el puerto USB: Puedes usar un programa como Repetier-Host o cualquiera de los mencionados anteriormente para comunicarte con Marlin. El programa te permite mover la impresora, hacer el homing, encender los extrusores, y ejecutar un programa de G-CODE. Además de esto, Marlin muestra mucha información a través del puerto serie. Si tienes algún problema, hay comandos que te explican qué está pasando (o lo que piensa la máquina que está pasando).

4- Soporta muchos modelos de placas: La lista es muy grande, más de 40 modelos. Todas las placas conocidas tienen soporte para Marlin. Marlin soporta chips de la familia AVR de Atmel. Es el chip que tienen los Arduinos Mega y muchas placas usan la versión Mega 2560, y otros usan chips de la familia At90 (sobre todo por el soporte USB incluido).

5- Planifica los movimientos, ajustando la velocidad: Marlin tiene un sistema avanzado de planificación de velocidades. Esto es fundamental para conseguir el acabado perfecto. En cada movimiento, Marlin calcula la aceleración ideal en el principio y al fin de cada tramo. Pero para esto, tiene en cuenta el comando anterior y el comando siguiente. Si el próximo comando es un cambio de dirección muy brusco (por ejemplo, una esquina), Marlin frena el movimiento actual, para que la máquina no salga disparada. Si el cambio de dirección es muy pequeño, mantiene la velocidad para que el movimiento se mantenga suave.

6- Soporta muchos tipos de pantallas LCD: Puedes conectar muchos tipos de pantallas a tu impresora. Desde la pantalla LCD puedes usar casi todas las funciones de Marlin. Puedes imprimir desde la tarjeta SD, ajustar la temperatura, acelerar la impresión, apagar los motores, etc.

7- No necesita un PC para imprimir: Marlin puede imprimir desde la tarjeta SD sin problema. No necesitas tener la impresora conectada al ordenador. El proceso normal es generar el fichero gcode en el ordenador, grabarlo en la tarjeta SD, e imprimir desde el lector de la pantalla.

8- Utiliza la EEPROM para guardar la configuración: Marlin puede almacenar casi todos los parámetros en la memoria EEPROM y leerlos al arrancar, sin tener que volver a compilar el programa cada vez que cambias algo.

9- Soporta varios tipos de Impresoras 3D: A parte de las impresoras 3D más comunes del tipo cartesianas, Marlin soporta otro tipo de gestión de movimientos.

- Delta
- CoreXY
- SCARA⁹

10- Mide la temperatura de forma precisa: Marlin hace muchas mediciones de la temperatura, y te muestra la media. De esta forma, trabaja con la temperatura filtrada, sin ruidos de medición.

Con un sensor capacitivo o inductivo, la impresora puede hacer varias pruebas en la cama caliente, y detectar posibles curvaturas. Marlin ajusta entonces todo el código para que se adapte a la altura real de la base.

⁹ Selective Compliance Assembly Robotic Arm

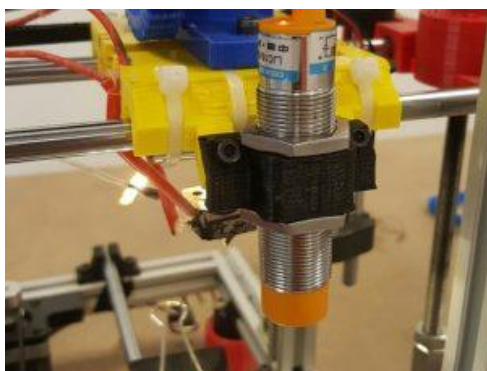


Figura 2.21 Sensor capacitivo para Autolevel

6. Integración del Hardware y Software

Introducción

Este capítulo se enfoca en explicar paso a paso la integración de los distintos módulos involucrados en la impresora, los cuales fueron anteriormente mencionados (componentes electrónicos, partes imprimibles y no imprimibles). Generalmente no existe un orden específico a seguir para el ensamblaje de los Ejes, sin embargo, se explica el orden que se siguió para al momento de ensamblar la parte estructural de nuestra máquina luego de realizar una exhaustiva investigación de los modelos que tenemos de fuentes en línea.

En este apartado se busca hacer un compendio de toda la información que se encuentra en la red muchas veces dispersa o muy difícil de encontrar. Se consultaron numerosos foros, blogs, guías, videos, etc. Asimismo, el trabajo de documentación engloba gran parte de la experiencia adquirida durante la realización de esta monografía.

Al final de este capítulo se mostrara el resultado obtenido siguiendo las instrucciones del foro RepRap [11], el cual nos brinda la información básica referente a la estructura de la impresora y algunas de sus variantes.

6.1 Hardware

6.1.1 Eje Y

- Piezas Impresas
- Balineras Lineales 608ZZ
- Polea y correa GT-16
- Motor NEMA 17
- Varillas Roscadas M10 y M8
- Varillas Lisas M8
- Lamina Base



Figura 2.22 Elementos del Eje Y

Lo primero que se hizo fue unir con las varillas de métrica 10 (M10) las esquinas de la base de la impresora, unimos las dos varillas métricas de 10mm de manera vertical y entre las dos esquinas, vamos a poner las arandelas de ala ancha junto con un par de tuercas que nos van a servir para unir la base con el marco de la impresora. Una vez tenemos las dos varillas verticales de la base montadas, vamos a unirlos con las varillas de métrica 8, de manera que formemos el rectángulo de la base. En estas varillas también vamos a intercalar un par de elementos, en un lado, vamos a poner el soporte del motor, y en el otro el soporte de la polea.

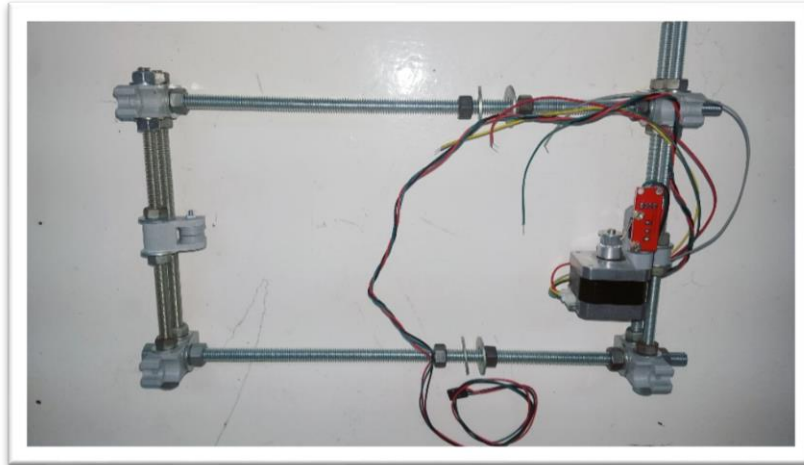


Figura 2.23 Base de la Impresora

Ahora que tenemos montado el rectángulo de la base incrustamos las varillas lisas en la parte superior de las esquinas. Antes de encajar estas varillas, pasamos los rodamientos lineales sobre los que va a deslizar la cama, para esto se necesitaron tres rodamientos 608ZZ. Seguidamente colocamos en el centro, la pieza de la que va a tirar el motor. Una vez finalizado tanto el rectángulo de la base, como la cama, unimos estas piezas apoyando la cama sobre la base y uniéndolo todo con bridas.



Figura 2.24: Eje Y Finalizado

6.1.2 Eje X

- Piezas Impresas
- Balineras Lineales 608ZZ
- Polea y correa GT-16
- Varillas Lisas M8

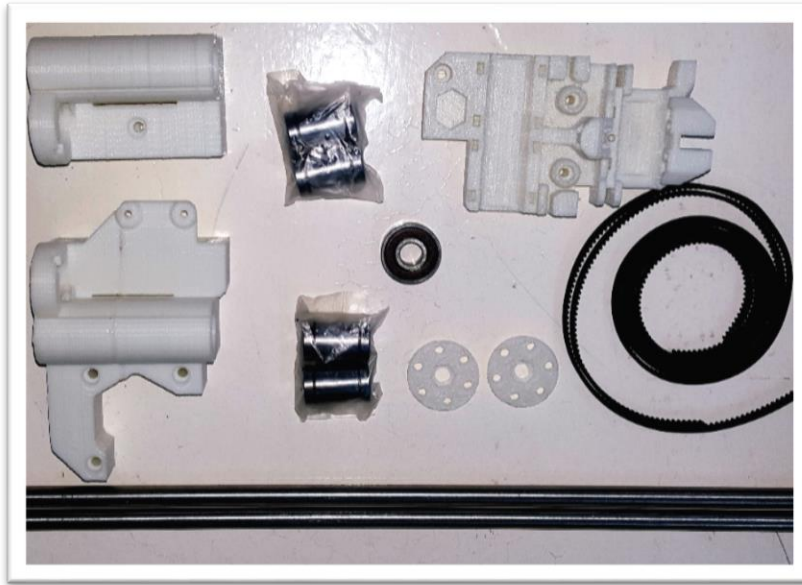


Figura 2.25 Elementos del Eje X

Lo primero que se hizo, fue asegurar las tuercas de métrica 5 en las piezas plásticas redondas las cuales fueron atornilladas a las piezas de plástico que hacen de principio y fin de carro. Antes de atornillar las tuercas, nos aseguramos que las varillas de métrica 5 se deslizan con facilidad por el agujero. Una vez hecho esto, unimos ambas piezas mediante las varillas lisas de métrica 8, pero antes tendremos que pasar los rodamientos por las varillas.



Figura 2.26 Eje X Finalizado

Para terminar el montaje del Eje X nos aseguramos que la polea dentada es colocada en el motor de manera inversa, esto se hace para asegurar que, al colocar la correa, no va a tocar con ninguna pieza de plástico y va a deslizarse correctamente. Otra de las cosas que debemos tener en cuenta al colocar el motor, es que el cable salga hacia abajo, si saliera por otro lado, podría chocar en el marco y llegar a cortar el cable.

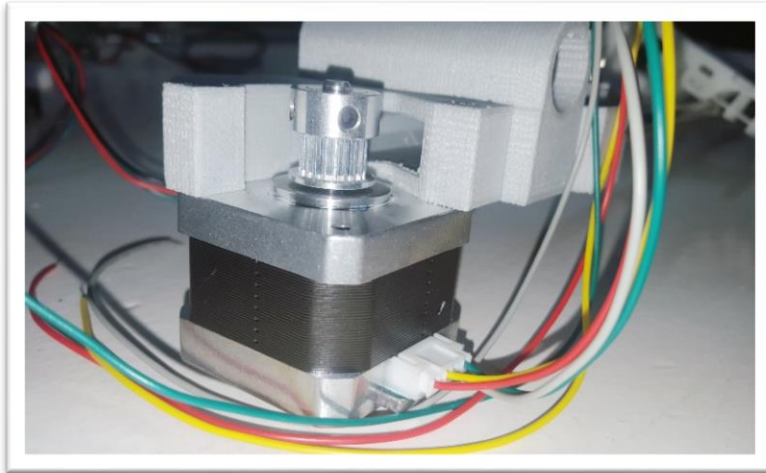


Figura 2.27 Montaje correcto del motor y polea en el Eje X

6.1.3 Eje Z

- Piezas Impresas
- Acoples
- NEMA 17
- Varillas Lisas M8
- Varillas Roscadas M5
- Lamina Marco



Figura 2.28 Elementos del Eje Z

Lo primero que se hizo, fue fijar los motores al marco con las piezas de plástico. Otra cosa que se debe tener en cuenta es poner la salida de los cables hacia atrás o de modo que saquemos los cables por el agujero que tenemos en el marco de manera tal que no se vean afectados ante cualquier movimiento de la impresora.

Una vez que fijamos y aseguramos la parte inferior donde se encuentran los motores, se incrustan las varillas lisas métrica 8 en los orificios de la pieza de plástico donde hemos fijado los motores, asegurándonos que las varillas quedan totalmente verticales. Hecho esto ya conocemos la distancia que tiene que haber entre las piezas de plástico del carro. Fijamos esa distancia haciéndola coincidir con la distancia entre varillas y metemos el carro con cuidado por esas varillas.



Figura 2.29 Eje Z Finalizado

Para terminar, fijamos las piezas de plástico de la parte superior del marco, quedando la estructura completamente sólida y teniendo el Eje libertad para moverse en dos direcciones. Colocamos las varillas roscadas de métrica 5 que van a bloquear el carro, impidiendo que suba y baje libremente. Estas varillas, pasarán a través de la tuerca de métrica 5 y quedarán unida al motor mediante el acoplador.

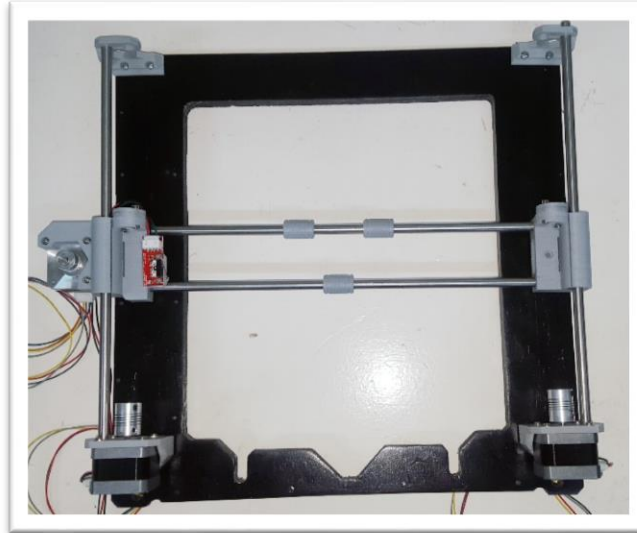


Figura 2.30 Eje X y Eje Z

6.1.4 Extrusor

- Piezas Impresas
- Motor NEMA 17
- Balinera 625ZZ
- Ventilador Radial de 40 mm
- Hobbed Gear (Engranaje de fresado)
- Sensor Inductivo
- Hotend E3D v6 J-Head

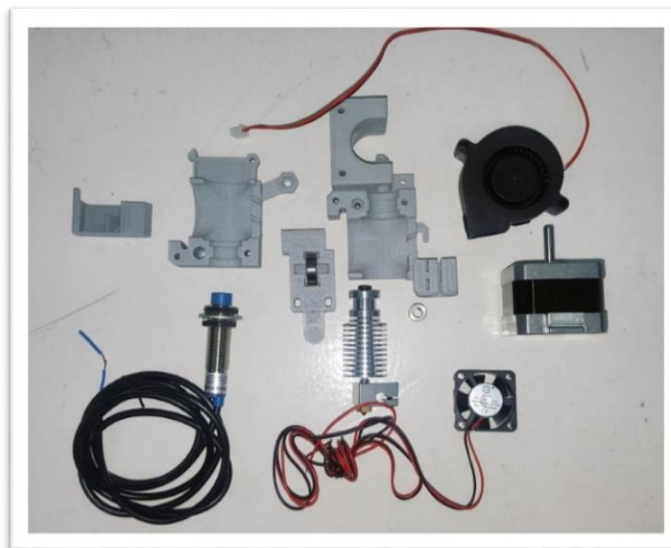


Figura 2.31 Partes del Extrusor

El montaje del extrusor es uno de los puntos más importantes de nuestra máquina, ya una de las partes más delicadas de nuestra impresora y con mucha seguridad una de las que más problemas nos presentó. El tener el extrusor bien calibrado y correctamente montado va a repercutir de manera muy directa sobre la calidad de la impresión, por eso es necesario dedicarle un poco más de tiempo y realizar un buen montaje de esta parte.

Lo primero que se realizó fue montar el cuerpo del extrusor, al que le empotraron Hotend con su cilindro y el termistor ya instalados. También le colocamos sobre este cuerpo la segunda pieza impresa que va a realizar la sujeción entre las piezas impresas y el Hotend. En la Figura 2.32 se muestra el resultado.

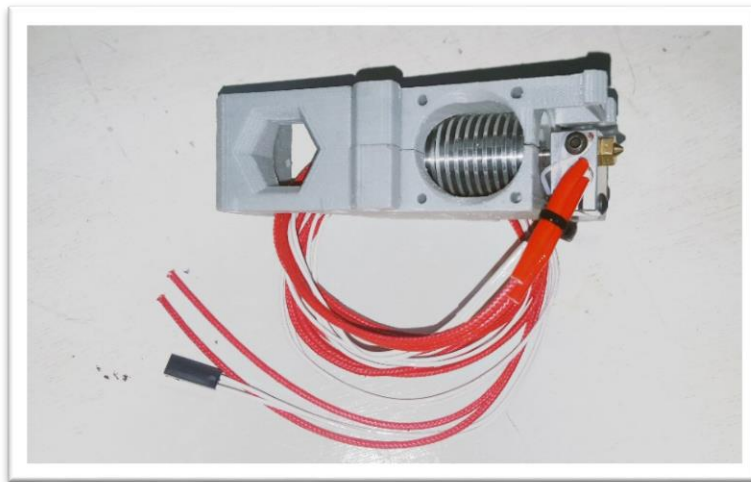


Figura 2.32 Extrusor Pre-ensamblado

Una vez listo el punto anterior, lo siguiente que se hizo fue ajustar los ventiladores. Este es de suma importancia ya que el ventilador de 30 mm (forma cuadrada) debe estar constantemente conectado a 12V ya que este es el encargado de ventilar el cuerpo del Hotend y de esta manera evitar que el filamento obstruya el trabajo. Por otra parte, tenemos el ventilador radial o también conocido como el ventilador de capa, el cual es utilizado para el enfriamiento del filamento al momento de la impresión y está conectado a una salida PWM de nuestro controlador. Posteriormente se explicará con más detalle el uso de este componente.

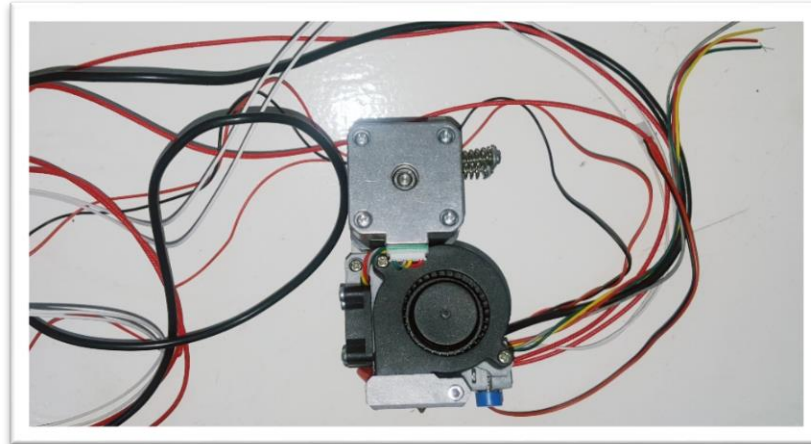
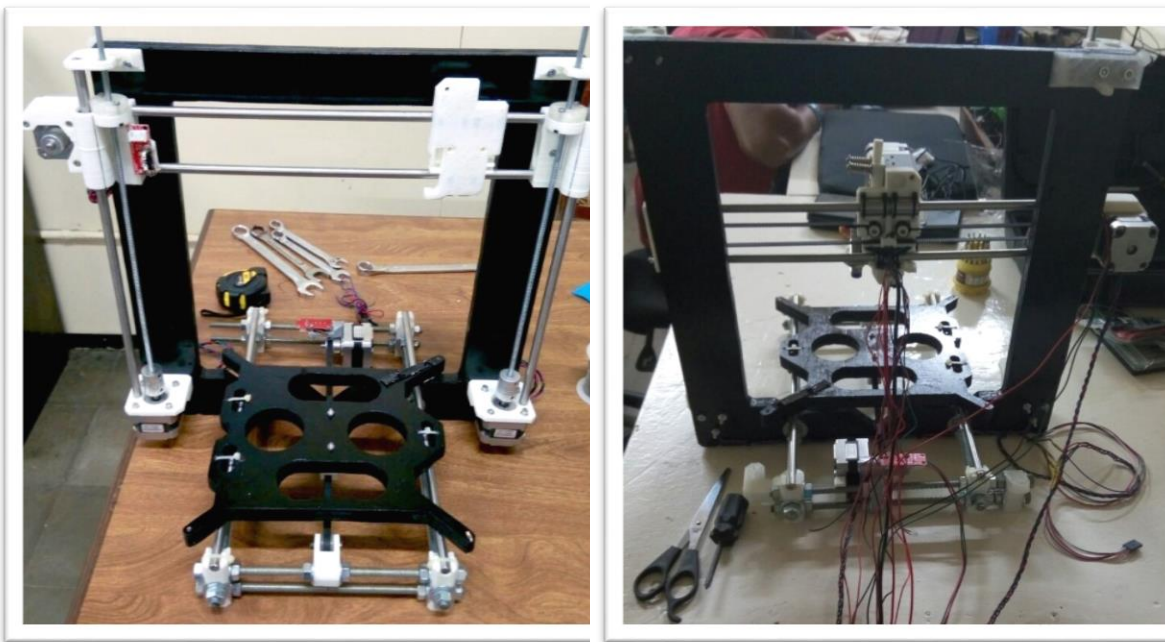


Figura 2.33 Extrusor Finalizado

En la Figura 2.33 podemos observar el resultado final del Extrusor, una vez que se colocan los ventiladores de manera correcta finalizamos el ensamblaje colocando el motor en la parte superior y por último el sensor de inducción a un costado.

Finalmente, en la Figura 2.34 y 2.35 se muestra el resultado de la estructura unificando los distintos Ejes y el Extrusor.



Izquierda: Figura 2.34 Estructura Finalizada, Derecha: Figura 2.35 Estructura finalizada con el Extrusor

6.2 Ensamblaje de la Electrónica

Para el sistema de control se utilizó un ATmega2560 el cual nos facilita la adaptación de un shield diseñado para la impresión 3D como es la RAMPS 1.4 SB. Anteriormente se mencionó la información necesaria relacionada a este dispositivo, y para las conexiones debidas de todos los componentes involucrados en nuestra impresora se siguió el diagrama que se muestra en la Figura 2.36:

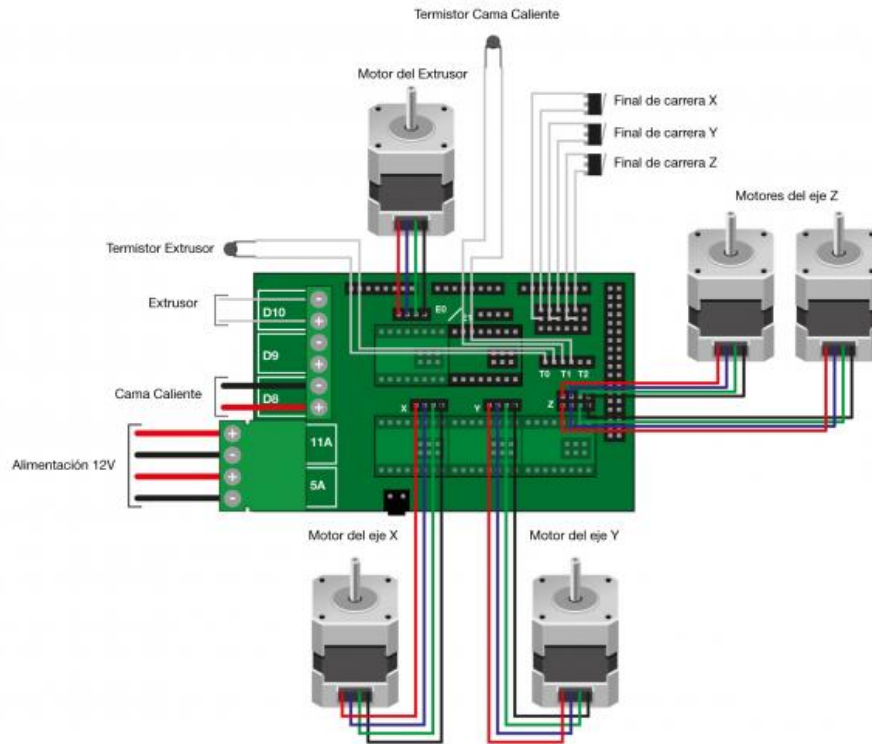


Figura 2.36 Diagrama de Conexión de la RAMPS

6.2.1 Criterios de Selección de motores y drivers

Cuando se seleccionaron los motores y los drivers para nuestra máquina, se tomó en cuenta lo siguiente:

1. Que los motores tengan un par fuerte lo suficientemente fuerte para la aplicación, esto es primordial ya que nuestro objetivo es mover uno de los ejes de la maquina con la suficiente fuerza y velocidad.
2. Que los drivers tengan suficiente corriente de salida para que el motor ejerza el par necesario. Además, el driver debe ser compatible con el resto del sistema de control.

Por tanto, las decisiones de qué motor y qué driver utilizar para este tipo de aplicación se afectan entre sí. En la mayoría de impresoras 3D de tecnología FDM, los motores utilizados son del tipo paso a paso bipolares. En la Figura 2.37 podemos observar uno de estos motores, en concreto el NEMA 17, uno que ha sido casi estandarizado para la impresión 3D.

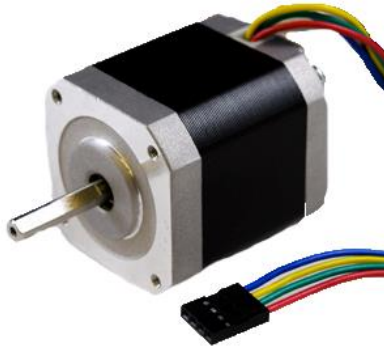


Figura 2.37 Motor NEMA 17 Kysan

El fabricante de los motores nos especifica una serie de datos y gráficos sobre su producto en las hojas de datos, como por ejemplo siguiente Figura 2.38:

NO.	Item	Specification	NO.	Item	Specification
1	Step Angle	1.8°	7	Holding Torque	5.5 Kg.cm
2	Rated Voltage	4.2 V	8	Insulation Class	Class B
3	Current Per Phase	1.5 A	9	Insulation Resistance	100MΩ (500V DC)
4	Resistance Per Phase	2.8±10%Ω	10	Connector	SKU 1160078
5	Inductance Per Phase	4.8±20% mH	11	Pin	SKU 1160079
6	Number of Phase	2			

Figura 2.38 Características disponibles del motor

Debemos tener en cuenta dos datos:

1. Torque de retención: podemos encontrarlo como “*Holding Torque*” o “*Static moment*”. Se mide en N·m o N·cm (Newtons·centímetro) y es uno de los parámetros que indica la “fuerza” del motor. En la Figura 2.38 podemos observar que para el motor del ejemplo su valor es de 5.5 Kg·cm. o 54 N·cm.

Este valor es un indicativo de la fuerza con la que el motor puede mantenerse en un paso. Determinará el aguante del motor a que la inercia del eje que se está moviendo le haga saltarse un paso al frenar el eje que es el punto común en el que puede saltarse un paso.

2. La corriente nominal: Aparecerá como “*Rated Current*”, “*Phase Current*” o “*Max Current*”. La medimos en amperios (A) y nos da el valor máximo de corriente que podemos hacer circular de manera continua por el motor sin quemarlo. En la Figura 2.38 podemos observar que para el motor del ejemplo su valor es de 1.5 A. Por tanto, si queremos utilizar este motor aprovechando toda su fuerza tenemos que controlarlo con un driver que sea capaz de entregar toda esa corriente.

6.2.1.1 Primer Criterio de selección:

El motor debe tener suficiente par motor o torque de retención para mover correctamente el eje de la máquina en cuestión. El cálculo teórico de este valor es muy complejo. Influyen una gran cantidad de factores, como por ejemplo los siguientes:

- Masa del eje a mover
- Velocidad de giro del motor paso a paso
- Inductancia de las bobinas
- No exactitud de los valores que da el fabricante
- Transmisión utilizada
- Rozamiento
- Aceleración deseada
- Otros factores

Debido a esto, utilizaremos valores ya probados en impresoras 3D existentes y funcionales. Daremos unos valores mínimos, teniendo en cuenta que cualquier motor de superiores prestaciones funcionará también correctamente:

1. Para ejes de carga ligera, el valor mínimo del par motor de retención deberá estar entre 28 y 40 N·cm. Por ejemplos, los Ejes que mueven carros de extrusor sin el motor montado, como los sistemas Bowden o Ejes que mueven bases de impresión muy ligeras.

2. Para ejes de carga media, el valor mínimo del par motor de retención deberá ser superior a 40 N·cm. Los ejes X, Y, Z y extrusor de la impresora tipo Prusa i3.

3. Para ejes de carga pesada el valor mínimo del par motor de retención deberá ser superior a 50-60 N·cm. Ejes que mueven carros de doble extrusor con ambos motores montados, Ejes que mueven carros con un extra de peso por algún motivo, como alguna mejora o accesorio extra, extrusores directos. Ejes verticales de un solo motor, como es el caso de muchas máquinas que elevan la base en el eje Z con una sola varilla.

Consejo en caso de que sólo dispongamos de motores más ligeros a los recomendados: Disminuir el valor de aceleración máxima y limitar la velocidad máxima a un valor más pequeño, en el firmware de la máquina.

6.2.1.2 Segundo Criterio de selección:

Las selecciones que hagamos de motores y de drivers se van a afectar entre sí. Uno de los criterios de selección de drivers es la corriente máxima que pueden entregar, debido a esto escogimos un motor cuya corriente nominal no sea muy alta, dentro de los valores que pueden otorgar los drivers que usamos.

Valores estándar de corrientes nominales son los siguientes:

- 0.6-0.7A
- 1.2-1.3A
- 1.7-1.8A
- 2.5A

Cuanta mayor corriente nominal tenga el motor, más conserva su torque a altas velocidades, por lo que escogeremos el de mayor corriente que admitan los drivers de los que disponemos. Generalmente, la mejor opción son los de 1,7-1,8A de corriente nominal. Es un valor admisible para la mayoría de los drivers disponibles.

Los drivers de bajo nivel son aquellos que se controlan con señales electrónicas básicas, como voltajes y corrientes, estos necesitan una electrónica de control aparte, ya que forman parte de un sistema y no se utilizan de manera independiente.

Estos drivers pueden tener diferentes especificaciones, de las cuales podemos destacar las siguientes:

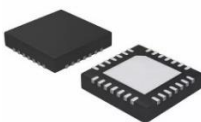

- Rango de voltajes de operación.
- Corriente que son capaces de suministrar de manera continua a cada bobina del motor.
- Modos de micropasos disponibles (1/8, 1/16, 1/32, full-step...).
- Mecanismos de seguridad, como control contra sobretensiones, sobrecorrientes y cortocircuitos.
- Limitadores de corriente para poder utilizar motores con baja corriente nominal o bien a un mayor voltaje que el nominal.

Un sin número de placas electrónicas para impresoras 3D FDM ha estandarizado la forma de estos drivers, consistente en un zócalo de 2 tiras de 8 pines a cómo podemos observar en la RAMPS 1.4. Con esta forma, numerosos fabricantes

diseñan módulos basados en dos circuitos integrados distintos, los cuales hemos comparado en la siguiente tabla, también fueron los cuales se decidió tomar en cuenta para hacer este trabajo monográfico.

Tabla 6.1

Tabla comparativa de drivers para motores paso a paso

		
Nombre	A4988	DRV8825
Fabricante	Allegro MicroSystems, LLC	Texas Instruments Inc.
Voltaje de operación	8 – 35 V	8 – 45 V
Modos de micropasos disponible	Full Step, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16	Full Step, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Corriente de salida máxima por bobina (con refrigeración)	2 A pico, 1.4 A RMS	2.5 A pico, 1.75 A RMS
Resistencia de salida de los FETs	0.32 – 0.45 Ω (según oC)	0.2 – 0.32 Ω (según oC)
Autoapagado por temperatura	Si, a 165 oC	Si, a 160 oC
Protección contra exceso de corriente	Para mayores de 2.1 A por bobina	Para mayores de 3 A por bobina
Protección contra cortocircuito	SI	SI

Como se puede apreciar en la Tabla 6.1, el IC DRV8825 ofrece mejores prestaciones. Sin embargo, la principal ventaja de la que se quería sacar provecho era de los micropasos disponible ya que a diferencia del IC A4988, este nos da una resolución de hasta 1/32 pasos lo cual permite que el movimiento del motor sea más suave.

Luego de este análisis se decidió utilizar tres drivers A4988 (uno para cada eje) y el DRV8825 se utilizó para el motor del extrusor.

6.2.2 Calibración de la corriente

Anteriormente mencionamos que la fuerza que va ejercer un motor depende directamente de la corriente que circula por él. Esto simplificado seria Mas corriente

= Más fuerza. Sin embargo, nuestros dispositivos tienen valores máximos de corriente que pueden entregar con seguridad.


El valor óptimo de corriente al que debemos regular los drivers estará comprendido entre ambos valores. Lo representaremos como la ‘Regla de oro’.

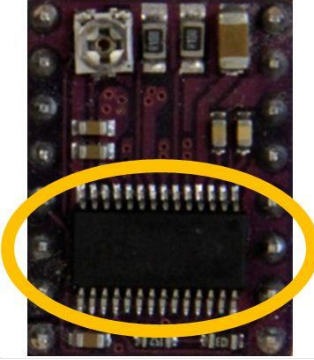
Mínima corriente que necesita el motor para suficiente fuerza para nuestro sistema < **Valor al que debemos calibrar la corriente del driver** < **Máximo corriente que puede entregar el driver**

Como regla general, calibramos los motores a una corriente mínima del 60% o 70% de su corriente nominal. En nuestro caso trabajamos con motores cuya corriente nominal era de 0.8A y 1.5A, teniendo en cuenta lo calibramos a una corriente de 0.56A y 1.05A, valores completamente tolerables para nuestros drivers.

Todos los drivers que son compatibles con el módulo de 2x8 pines se calibran midiendo y ajustando el voltaje en un punto determinado (se verá más adelante) de la placa electrónica. Es por esto que necesitamos una conversión de voltaje medido a corriente a la que calibramos. Esta calibración se da mediante una formula bastante sencilla. Para cada tipo de drivers es diferente así que, en la Tabla 6.2 mostramos los drivers utilizados para nuestra maquina junto con su fórmula.

Tabla 6.2
Tabla para identificar los modelos de drivers

Driver	Nombre del Driver	Formula
	Stepstick	$ITripMAX = VRef / (8 * RS) \quad (1)$

	<p>Pololus DRV8825</p>	$A = 2 \times V \quad (2)$
---	------------------------	----------------------------

Explicando un poco la fórmula 1 tenemos que $I_{TripMAX}$ será la corriente a la que limitamos nuestro motor a trabajar, la cual fue al 70% de la corriente máxima del motor. R_s son las resistencias de sensibilidad, hay que tener cuidado ya que en algunos casos pueden tener valores de 0.1Ω o 0.2Ω . Así que despejando ambas fórmulas en función del voltaje de referencia se obtienen los resultados descritos en la Tabla 6.3

Tabla 6.3

Parámetros eléctricos de drivers seleccionados

	<i>Eje X</i>	<i>Eje Y</i>	<i>Eje Z</i>	<i>Extrusor</i>
Driver	A4988	A4988	A4988	DRV8825
Voltaje Referencia	0.7V	0.7V	1.4V	0.7V
Corriente	0.56A	0.56A	1.12A	0.56A

Una vez obtuvimos los valores adecuados realizamos la calibración directa. Para esto solo debemos medir el voltaje entre el potenciómetro en el driver y un punto GND cualquiera en nuestro circuito. Este potenciómetro sirve tanto de punto de medida como de ajuste al girarlo. Ese potenciómetro servirá tanto de punto de medida como de ajuste, al girarlo.

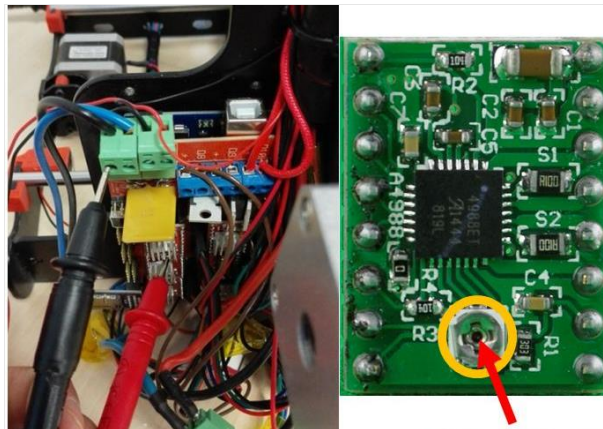


Figura 2.39 Puntos de calibración en los drivers

Una vez terminamos de realizar la calibración, se debe colocar un disipador en cada driver, ya que esto ayudará a la refrigeración y le permitirá trabajar sin apagarse por exceso de temperatura.

6.3 Software

Anteriormente se menciona el Marlin, un firmware de código abierto ampliamente utilizado en la impresión 3D, ya que este nos permite realizar las configuraciones necesarias para que nuestra impresora funcione correctamente. Para modificar el firmware nos enfocamos en un archivo, este es el **Configuration.h**

A continuación, veremos los parámetros a modificar para adaptar el Marlin a nuestra impresora los cuales serán los pasos por milímetro de los motores, el PID por software de la extrusora, dimensiones de la cama, entre otros.

6.3.1 Configuración del firmware

Ya que tenemos todos los elementos de la electrónica conectados, procedemos a cargarle el firmware a nuestra impresora, el cual será el Marlin. Para trabajar en el firmware se utilizó el IDE de Arduino siguiendo los siguientes pasos

Paso 1: abrimos el IDE de Arduino, conectamos la tarjeta a utilizar y seleccionamos el puerto de comunicación.

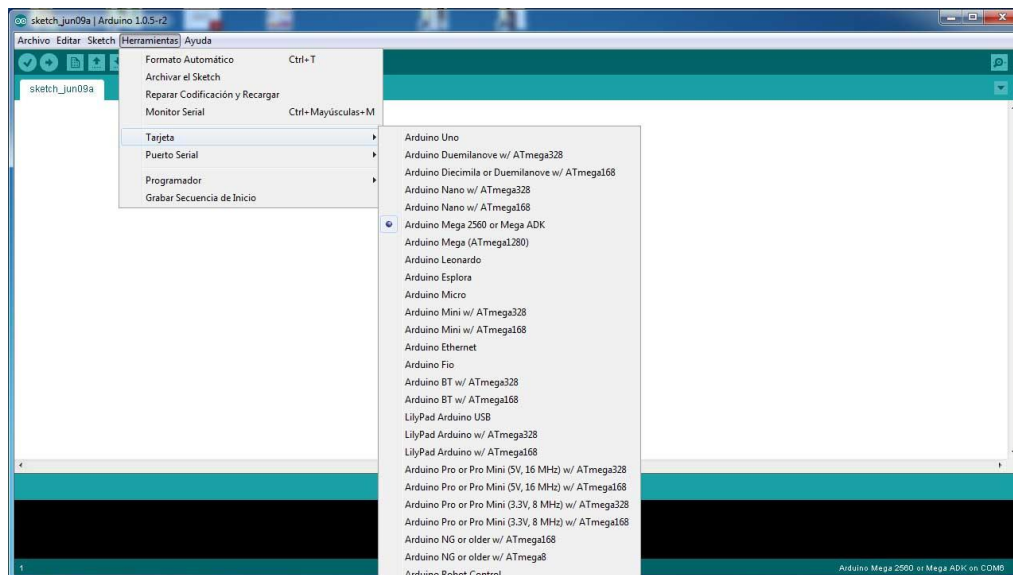


Figura 2.40 Selección de la tarjeta y puerto

Paso 2: Una vez configurada la tarjeta y el puerto, abrimos el Marlin, para ello en la barra de herramientas le damos a archivo/abrir y buscamos la carpeta con el Marlin,

vamos a encontrar un archivo que se llama **"Marlin.ino"**, lo abrimos y aparecerá una nueva ventana.

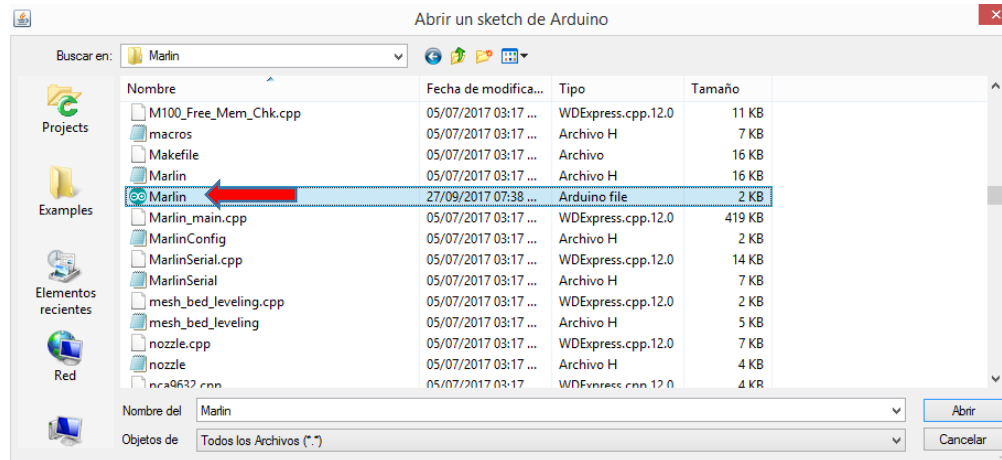


Figura 2.41 Carpeta Marlin

Paso 3: Los primeros parámetros que debemos modificar son el tipo de placa que tenemos y el número de extrusores de nuestra máquina, en nuestro caso, usamos una RAMPS 1.4 por lo cual debemos buscar nuestra tarjeta en la librería **"boards.h"** como lo indica el Marlin, y en el número de extrusores lo pondremos en **"1"**, ya que nuestra maquina cuenta con 1 extrusor.

```
118 // The following define selects which electronics board you have.
119 // Please choose the name from boards.h that matches your setup
120 #ifndef MOTHERBOARD
121   #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB ←
122 #endif
123
124 // Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
125 // Displayed in the LCD "Ready" message
126 #define CUSTOM_MACHINE_NAME "Mean Machine"
127
128 // Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to differentiate between machines)
129 // You can use an online service to generate a random UUID. (eg http://www.uuidgenerator.net/version4)
130 // #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"
131
132 // @section extruder
133
134 // This defines the number of extruders
135 // :[1, 2, 3, 4, 5]
136 #define EXTRUDERS 1 ←
137
138 // For Cyclops or any "multi-extruder" that shares a single nozzle.
139 // #define SINGLENOZZLE
140
```

Figura 2.42 Controladora y Extruder

Paso 4: más abajo encontraremos el apartado de **"Thermal Settings"** el cual nos permite definir los tipos de termistores a utilizar y los parámetros térmicos de nuestra maquina como son temperatura mínima de la cama y el extrusor, temperaturas máximas, etc.

En las opciones **"#define TEMP_SENSOR_0"** y **"#define TEMP_SENSOR_BED"**, tenemos que indicar que tipo de sensor estamos usando, en nuestro caso estamos

usando un termistor ATC Semitec 104GT-2 para el extrusor y para la cama un Hisens 3950, por lo cual se han asignado los números "5" y "13".

```
270 #define TEMP_SENSOR_0 5
271 #define TEMP_SENSOR_1 0
272 #define TEMP_SENSOR_2 0
273 #define TEMP_SENSOR_3 0
274 #define TEMP_SENSOR_4 0
275 #define TEMP_SENSOR_BED 13
276
277 // Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 998 and 999
278 #define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
279 #define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100
280
281 // Use temp sensor 1 as a redundant sensor with sensor 0. If the readings
282 // from the two sensors differ too much the print will be aborted.
283 // #define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
284 #define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10
```

Figura 2.43 Selección de Sensores

Para terminar con la configuración térmica solo debemos declarar la temperatura mínima de operación de la impresora. En nuestro caso la **"#define HEATER_0_MINTEMP"** y **"#define BED_MINTEMP"** fueron declarados en 5 grados centígrados ya que este valor siempre debe ser menor a la temperatura ambiente a la que se encuentre la impresora. Y por último se definieron **"#define HEATER_0_MAXTEMP"** y la **"#define BED_MAXTEMP"** en 260 y 120 grados que son las temperaturas máximas recomendadas para nuestros componentes.

```
299 #define HEATER_0_MINTEMP 5
300 #define HEATER_1_MINTEMP 5
301 #define HEATER_2_MINTEMP 5
302 #define HEATER_3_MINTEMP 5
303 #define HEATER_4_MINTEMP 5
304 #define BED_MINTEMP 5
305
306 // When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
307 // This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT* from thermistor short/failure!
308 // You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
309 #define HEATER_0_MAXTEMP 260
310 #define HEATER_1_MAXTEMP 275
311 #define HEATER_2_MAXTEMP 275
312 #define HEATER_3_MAXTEMP 275
313 #define HEATER_4_MAXTEMP 275
314 #define BED_MAXTEMP 120
```

Figura 2.44 Configuración Parámetros Térmicos

Paso 5: el PID es un controlador que está programado en el propio Arduino y que debemos configurar para que la regulación de la temperatura sea lo más precisa posible. Para ello debemos modificar el apartado **"PID Settings"**, utilizando el comando M303 anteriormente explicado nos permite obtener los valores de Kp, Ki y Kd.


```
336 // If you are using a pre-configured hot
337
338 // Ultimaker
339 #define DEFAULT_Kp 39.450
340 #define DEFAULT_Ki 4.46
341 #define DEFAULT_Kd 87.25
342
343 // MakerGear
344 // #define DEFAULT_Kp 7.0
345 // #define DEFAULT_Ki 0.1
346 // #define DEFAULT_Kd 12
347
348 // Mendel Parts V9 on 12V
349 // #define DEFAULT_Kp 63.0
350 // #define DEFAULT_Ki 2.25
351 // #define DEFAULT_Kd 440
```

Figura 2.45 Parámetros PID

Cuando ingresamos el comando M303 se empieza a ejecutarse el PID por software que nos brinda el Marlin, y una vez finalizo obtuvimos los siguientes datos: Kp 39.450, Ki.46 y Kd 87.25, estos valores son reemplazados en la sección que se observa en la Figura 2.43.

Paso 6: los siguientes parámetros a configurar hacen referencia a los finales de carreta y al movimiento de los ejes. Los primeros parámetros activan las resistencias de Pull-Up, las cuales son necesarias ya que trabajamos con los finales de carrera entre la señal y GND. Luego en los siguientes grupos de parámetros bloquean los ejes cuando se mueven, haciendo que permanezcan en la posición que se les ordena, y los últimos parámetros sirven para invertir el sentido de giro de los motores.

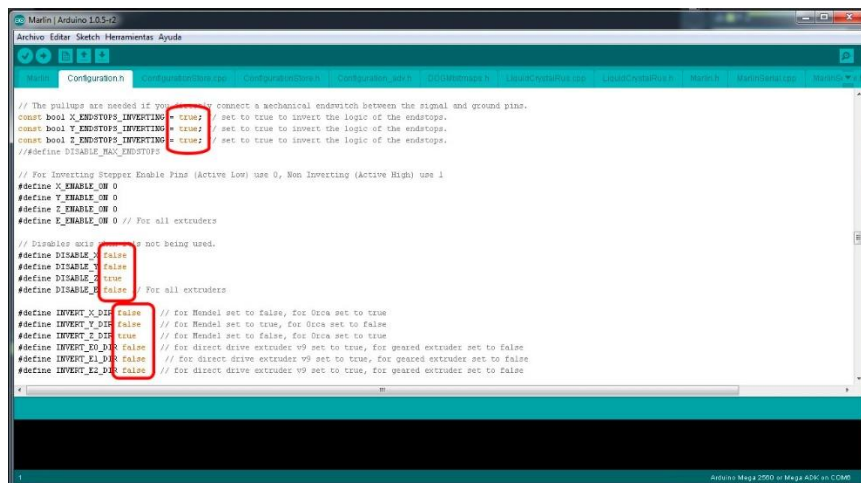


Figura 2.46 Configuración Finales de carrera y sentido de giro de los motores

Paso 7: a continuación, configuraremos los pasos por milímetro de cada uno de los ejes lo cual es una de las variables clave para lograr conseguir que los resultados de la impresión sean fieles a las medidas que tenga nuestro diseño.

La fórmula que seguimos para calcular estos valores:

$$\text{Steps/mm} = \frac{\text{motor steps per rev} * \text{driver microstep}}{\text{belt pitch} * \text{pulley number of teeth}} \quad (4)$$

Con la ecuación anterior obtenemos los pasos por milímetro (steps/mm) de un motor NEMA17, con la cual tenemos 200 pasos/rev, 1/16 microstep del driver, usando una banda GT-16 y una polea de 20 dientes tendremos 80 steps/mm a cómo podemos observar en la siguiente ecuación.

$$(200 * 16) / (2 * 20) = 80 \quad (5)$$

Al aplicar esta fórmula para todos los ejes se obtuvieron los siguientes valores:

```
508 | * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
509 | * Override with M92
510 | *                               X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[,
511 | */
512 | #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 79.91, 79.91, 4054.61, 150 }/
```

Figura 2.47 Pasos por milímetros

A como podemos observar los datos que están comentados son los valores que obtuvimos al aplicar la formula, sin embargo, hay una manera alternativa con la que se obtuvo un resultado más preciso. Una vez que se finalizó la configuración del firmware y descargado en la tarjeta se procedió a conectar la impresora a la PC lo cual nos permitió calcular el valor más exacto posible para los pasos por milímetro.

Paso 8: en este último paso se configura una de las mejoras que se le agrego a la impresora, la cual fue el uso de un sensor inductivo el cual nos permite realizar una nivelación automática en la cama caliente, reemplazando el final de carrera en el Eje Z.

Para configurar dicho sensor nos centramos en estudiar los tipos de Auto Bed Leveling descritos en la siguiente tabla:

Tabla 6.4

Tipos de Nivelación Automática

Bed Leveling Mode	Descripción
LEVELING_3POINT	Prueba 3 puntos arbitrarios en la cama. Se especifican las coordenadas de XY en los 3 puntos. El resultado es un plano inclinado recomendado para una cama plana.
LEVELING_LINEAR	Prueba varios puntos en una cuadrícula. Se especifican el rectángulo y la densidad de los puntos de muestra. El resultado es un poco similar al caso anterior.
LEVELING_BILINEAR	Prueba varios puntos en una cuadrícula. Se especifica el rectángulo y la densidad de puntos de muestra. El resultado es una malla, recomendada para camas largas y desiguales.
LEVELING_UBL (Unified Bed Leveling)	Un sistema de nivelación el cual combina las características y beneficios de otros sistemas. Incluye generación integrada de malla, validación de malla, etc. Actualmente disponible solo para impresoras cartesianas.
MESH_BED_LEVELING	Crea una malla manualmente. El resultado es una malla apto para camas grandes o desiguales.

Después de múltiples pruebas se decidió escoger la opción de AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR ya que fue la opción que mejores resultados nos brindó, siendo las siguientes las configuraciones finales:

```

849 #if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_LINEAR) || ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR)
850
851 // Set the number of grid points per dimension.
852 #define GRID_MAX_POINTS_X 4
853 #define GRID_MAX_POINTS_Y GRID_MAX_POINTS_X
854
855 // Set the boundaries for probing (where the probe can reach).
856 #define LEFT_PROBE_BED_POSITION 10
857 #define RIGHT_PROBE_BED_POSITION 180
858 #define FRONT_PROBE_BED_POSITION 10
859 #define BACK_PROBE_BED_POSITION 170

```

Figura 2.48 Configuración Nivelación Automática

GRID_MAX_POINTS_X 4 estamos declarando que la nivelación tomara 4 puntos por 4 líneas en el Eje X por lo cual tendremos 16 puntos de prueba en la cama además de definir las dimensiones del área de prueba como podemos observar en la imagen anterior.

Básicamente estos fueron los parámetros que se requieren para poner en marcha nuestra impresora 3D. Una vez estos parámetros están correctamente configurados podemos pasar a la siguiente etapa la cual nos permitirá poner en funcionamiento nuestra máquina.

CAPITULO 3

7. Análisis y Presentación de Resultados

En este capítulo se describen las pruebas realizadas con los programas mencionados anteriormente, así como los principales problemas encontrados a lo largo de esta fase.

7.1 Pruebas Iniciales

Para las pruebas iniciales se tomaron parámetros estándar como la altura de capa de 0.2 milímetros, temperatura del extrusor 250 grados y 100 para la cama caliente, sin retracción, relleno tipo Honeycomb al 25%.

En la Figura 3.1 se muestra los primeros resultados de impresión, en estos se puede observar que no hay consistencia en las capas y también problemas con la plataforma de impresión.

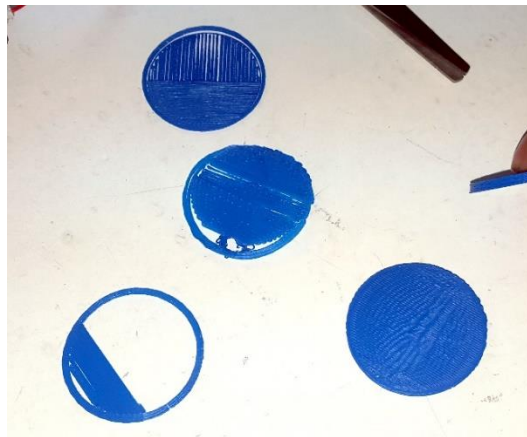


Figura 3.1 Pruebas iniciales

También se puede notar una vibración en las piezas, esto es resultado del tipo de paso que se definieron para los motores en cada eje, estos fueron los de tipo de paso completo y la velocidad de la impresora es demasiado elevada por lo cual después de analizar esto se procedió a realizar las mejoras.

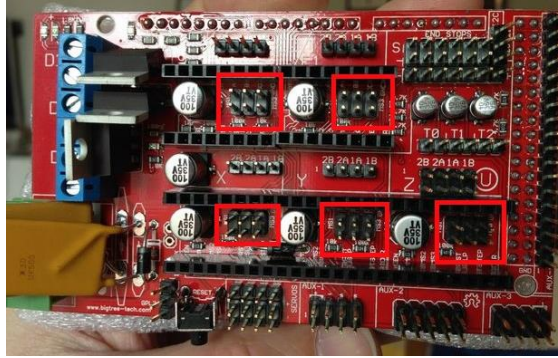


Figura 3.2 Jumper necesarios para los pasos por milímetro

Una vez se le agrego los jumpers necesarios para definir una mejor resolución en los pasos y también cambiando los valores en el firmware se obtuvieron resultados con mejores acabados. Las vibraciones fueron eliminadas y de igual manera se utilizó laca para cabello o pasta ABS¹⁰ lo cual nos permitió que las piezas no se despegaran de la cama caliente. En la Figura 3.3 y 3.4 podemos observar los resultados después de las mejoras realizadas.



Figura 3.3 Ficha de Casino impresa

¹⁰ Una mezcla de plástico ABS con acetona

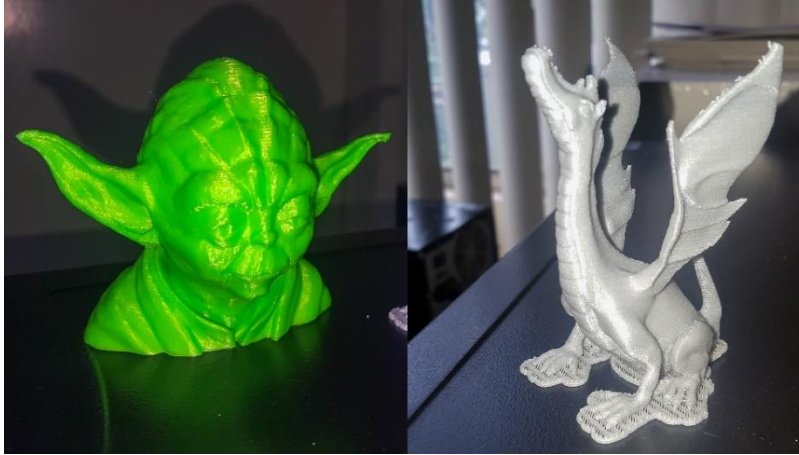


Figura 3.4 Busto de Joda a la izquierda, Dragón Adalinda a la derecha

Una vez finalizados estos ajustes se procedió al siguiente punto el cual consiste en comparar distintos softwares de impresión 3D. Se puede notar un detalle en la parte superior de las alas del dragón lo cual indica que el extrusor está empujando más plástico del debido al final de cada capa. Este detalle puede ser mejorado desde el software de laminado por lo cual no fue un problema ni en el firmware o la electrónica.

7.2 Pruebas Finales

A partir de las pruebas realizadas en el punto anterior se decidió proseguir con modelos más complejos y con mayores detalles para poner a prueba la impresora, para esto utilizando el programa Slic3r como laminar de dichos modelos se obtuvieron los siguientes resultados.

Para tener una idea más clara en la Tabla 7.1 se resume los parámetros aproximados utilizados en cada programa.

Tabla 7.1

Parámetros utilizados en los programas laminadores

Parámetros	Slic3r	CURA	Craftware
Boquilla	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm
Retracción	1.5 mm	0.2 mm	1 mm
Velocidad de Retracción	30 mm/s	30 mm/s	25 mm/s
Altura de Capa	0.2 mm	0.2 mm	0.2 mm
Perímetros	3	3	3
Relleno	10%	10%	10%
Temperatura Extrusor	215°C	215°C	210°C
Temperatura Cama Caliente	60°C	60°C	60°C
Velocidad	45 mm/s	45 mm/s	45 mm/s

En la Figura 3.5 podemos observar de izquierda a derecha Slic3r, CURA y Craftware.



Figura 3.5 Resultados finales, vista frontal

Comentando respecto al primer modelo es cual fue trabajado con Slic3r los únicos detalles que se pueden notar son pequeñas imperfecciones en el pico en el inicio de las plumas y en la parte superior de la cabeza. El segundo fue laminado con el CURA detalles similares que el modelo anterior por lo cual no hubo mucha diferencia en este caso. Con el tercer modelo se utilizó Craftware y a pesar de un problema que presento al inicio de la impresión el cual fue realizar una retracción de casi 10 mm lo cual dejo la primera capa casi con un 30% menos el acabado final fue el mejor, ya que las imperfecciones causadas en los modelos anteriores por la temperatura son casi imperceptibles con este software, además que se vio una notoria diferencia en las orejas.



Figura 3.6 Resultados finales, vista trasera

Por la parte de atrás no hay mucha diferencia entre los modelos, la textura final es muy similar y lo único que se puede observar es los hilos dejados por la falta de retracción en la parte superior.



Figura 3.7 Resultados finales, vista superior

Solamente en uno de los modelos se logró apreciar un pequeño agujero en los hombros, pero debido a la resolución de la cámara no es apreciable, aun así, siguiendo los consejos de los foros en línea con solo aumentar el relleno esto desaparece.

CAPITULO 4

8.1 Conclusiones

En el presente trabajo se diseñó e implemento una impresora 3D, basada en la Prusa i3, para la elaboración de objetos tridimensionales a partir de termoplásticos y haciendo uso de herramientas Open Source.

Primeramente, se realizó un análisis comparativo entre las diferentes tecnologías de impresión 3D disponibles en el mercado actual, siendo escogida la tecnología por Deposición de Material Fundido (FDM) debido a los costos, disponibilidad de materia prima e información.

Para la construcción de la impresora se seleccionaron componentes tanto mecánicos como electrónicos. Para los componentes mecánicos utilizados, se determinó como principal requerimiento la precisión requerida para el montaje de la estructura de la impresora puesto que esto aporta mucho en el nivel de acabado de las piezas. Así mismo, los niveles de voltaje, corriente y precisión de los componentes electrónicos fueron los requerimientos clave para su selección. De tal manera, que los componentes electrónicos utilizados en nuestra impresora fueron adquiridos fuera de Nicaragua y nos obligaron a hacer uso de dos drivers diferentes para los motores.

Posteriormente, se exploraron y seleccionaron diferentes softwares, todos Open Source para determinar los más idóneos para la impresora que se construyó. Se seleccionó el Marlin como el sistema operativo de la impresora, como software CAD se tienen dos opciones: el software Sketch Up para principiantes y el Fusion 360 para usuarios intermedios.

Una vez se puso en marcha y se realizaron las primeras pruebas con la impresora, se observaron defectos en el acabado de las piezas, tales como vibraciones e inconsistencia entre capas, originado por la velocidad de la impresora y los pasos de motor seleccionados en ese momento, cambiando estos parámetros se obtuvo un mejor acabado final. Al realizar la comparación con diferentes softwares de impresión 3D se percibió que cada uno contaba con distintos valores para cada parámetro, de modo que al hacer uso de estos se obtuvieron resultados semejantes, dejando a criterio del usuario el software a elegir.

8.2 Recomendaciones

De manera similar a otros proyectos con orientación académica, en este tenemos la ventaja de abarcar un amplio rango de temas y puntos de vista, pero otro lado tiene el inconveniente de que en ocasiones ciertos temas no pueden ser estudiados en la profundidad que esperamos,

A continuación, se enumeran una serie de ideas que pueden ser interesantes para seguir trabajando en ellas:

1. Para este trabajo monográfico nos limitamos a utilizar materiales ABS y PLA, sin embargo, recomendamos realizar un estudio comparativo de las propiedades de otros tipos materiales disponibles en el mercado.
2. Considerar utilizar una estructura diferente para una posible mejora de la impresora, siendo una recomendada alternativa el perfil de aluminio, ya que la nuestra fue diseñada con marco de madera y varillas roscadas. La alternativa del perfil de aluminio podría dar una mayor rigidez evitando vibraciones en las impresiones.
3. Ya que para este trabajo se utilizó la técnica de modelado por deposición fundida, se recomienda valorar otras tecnologías disponibles como por ejemplo Estereolitografía (SLA) o Sintetizado selectivo por láser (SLS), ya que están técnicas muy utilizadas.
4. Como alternativa a los altos costos que la bobina de filamento presenta para Nicaragua ya que tiene que ser exportada, diseñar una máquina que nos permita reciclar plásticos.

Referencias

- [1] S. Ltd., «Stratasys,» Stratasys, 6 Junio 2015. [En línea]. Available: www.stratasys.com. [Último acceso: 9 Noviembre 2017].
- [2] S. Andalucía, «Sinterizados Andalucía SA,» [En línea]. Available: <http://sinterizadoandalucia.com/sa/quienes-somos/>. [Último acceso: 9 Noviembre 2017].
- [3] 3Dilla, «3Dilla SA,» [En línea]. Available: <http://es.3dilla.com/>. [Último acceso: 9 Noviembre 2017].
- [4] DPS, «Darwin Printer Solutions,» [En línea]. Available: <http://darwinprint.com/>. [Último acceso: 2017 Noviembre 10].
- [5] L. T. Ojeda, «ARDUINO.cl,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>. [Último acceso: 6 Diciembre 2017].
- [6] J. Loureiro, «Staticboards,» [En línea]. Available: <https://www.staticboards.es/blog/drv8825-vs-a4988/>. [Último acceso: 15 Enero 2018].
- [7] Omega, «OMEGA Sensing Incredible Things,» Spectris, [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/termistores.html#>. [Último acceso: 16 Enero 2018].
- [8] Pive, «Mi BQ y yo,» 22 Septiembre 2014. [En línea]. Available: http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/#/vanilla/discussion/embed/?vanilla_discussion_id=0. [Último acceso: 17 Enero 2018].
- [9] V. Ventura, «polaridad.es,» 3 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://polaridad.es/que-es-g-code/>. [Último acceso: 19 Enero 2018].
- [10] RepRap, «Reprap.org,» 27 Diciembre 214. [En línea]. Available: <http://reprap.org/wiki/Slic3r/es>. [Último acceso: 27 Febrero 2018].
- [11] Normand, «Solid Utopia,» 22 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://solidutopia.com/marlin-firmware-user-guide-basic/>. [Último acceso: 21 Enero 2018].
- [12] J. Prusa, «Reprap,» MediaWiki, 22 Junio 2016. [En línea]. Available: http://reprap.org/wiki/Prusa_i3_MK2. [Último acceso: 22 Octubre 2017].
- [13] RepRap, «Reprap,» 3 Enero 2013. [En línea]. Available: http://www.reprap.org/wiki/Introducci%C3%B3n_a_Cura/es. [Último acceso: 12 Octubre 2017].

ANEXOS

Anexo A

Configuración del Repetier-Host

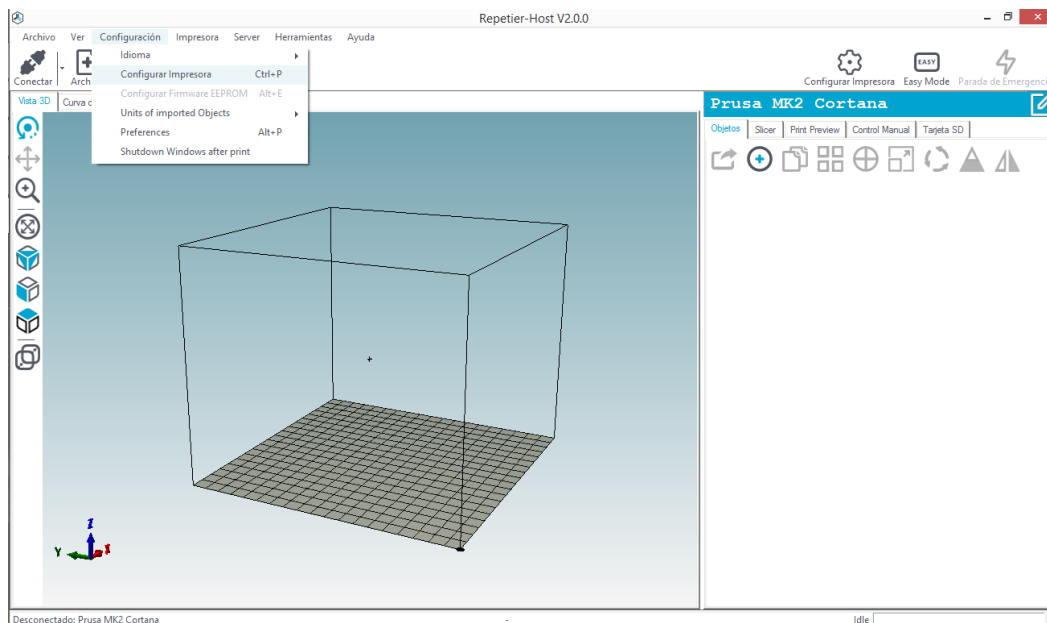


Figura A.1: Interfaz Repetier Host, agregar nueva impresora

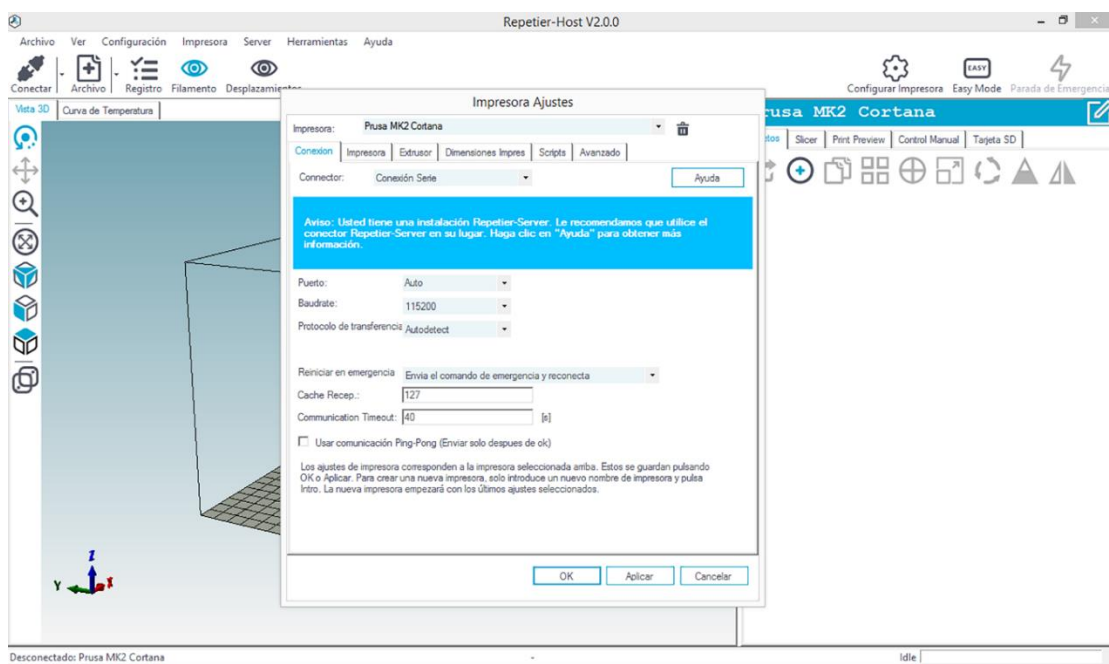


Figura A.2: Ajustes de conexión Impresora-PC

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE

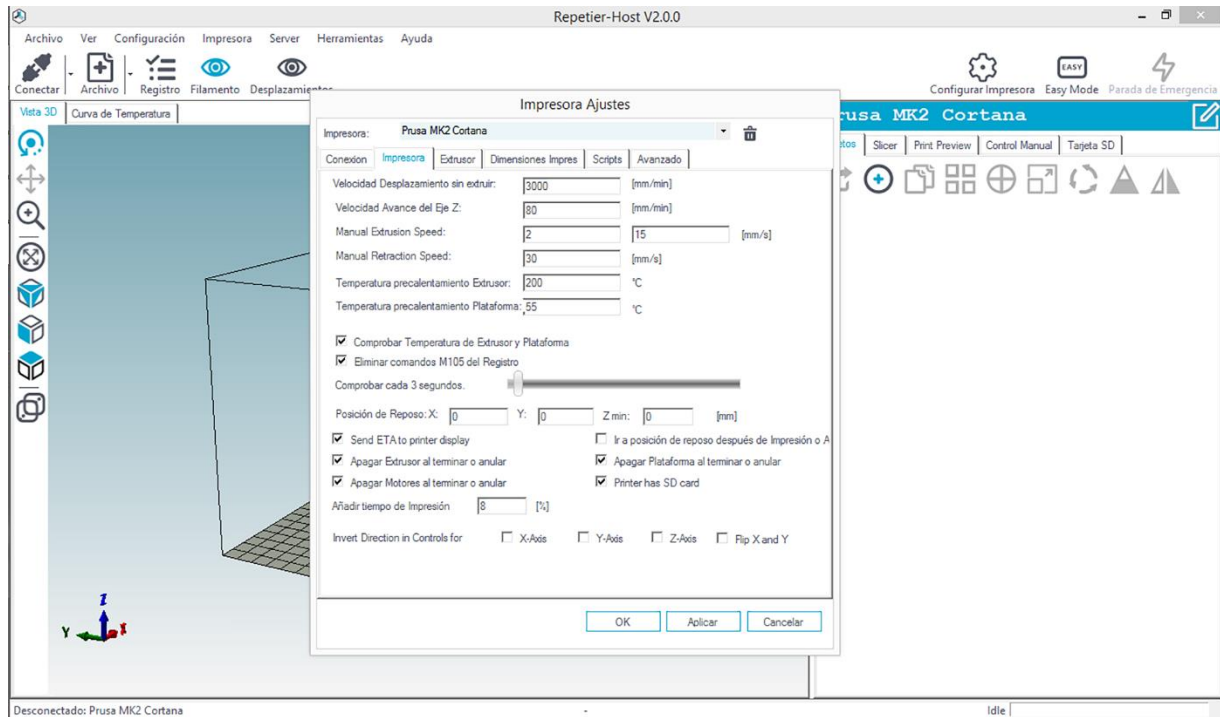


Figura A.3: Pestaña Impresora, configuración de parámetros de movimiento

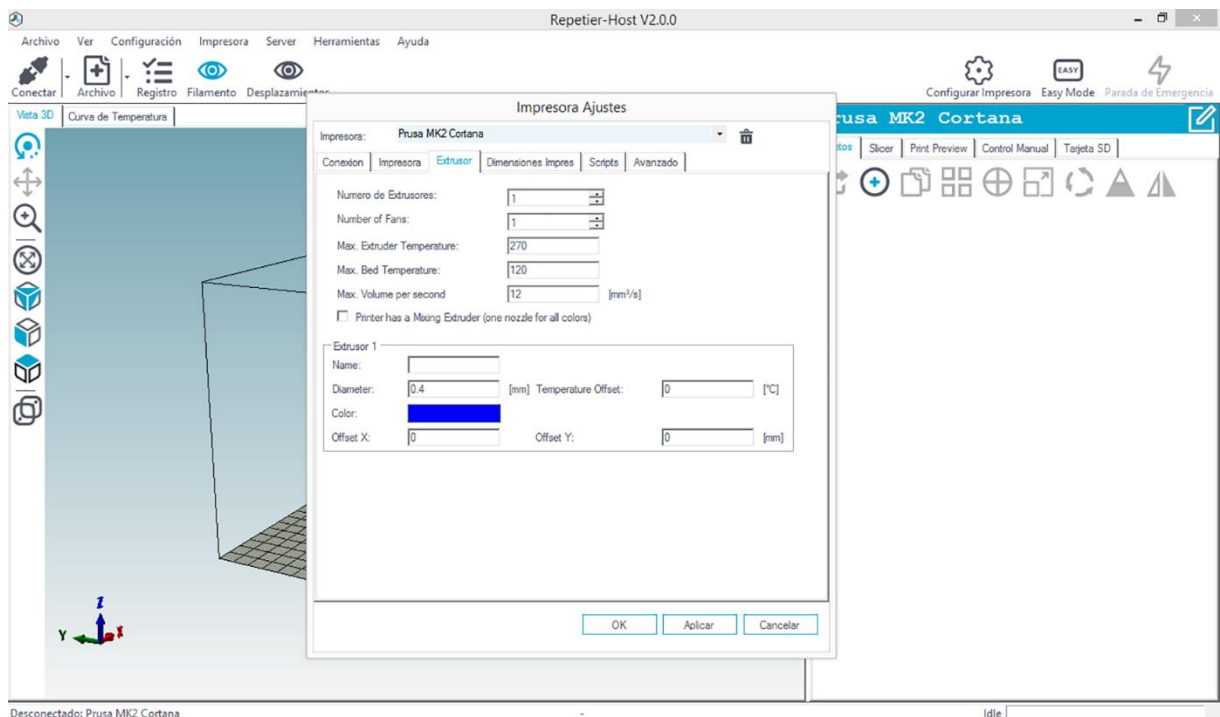


Figura A.4: Pestaña Extrusor, definición de los valores máximos de temperatura

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE

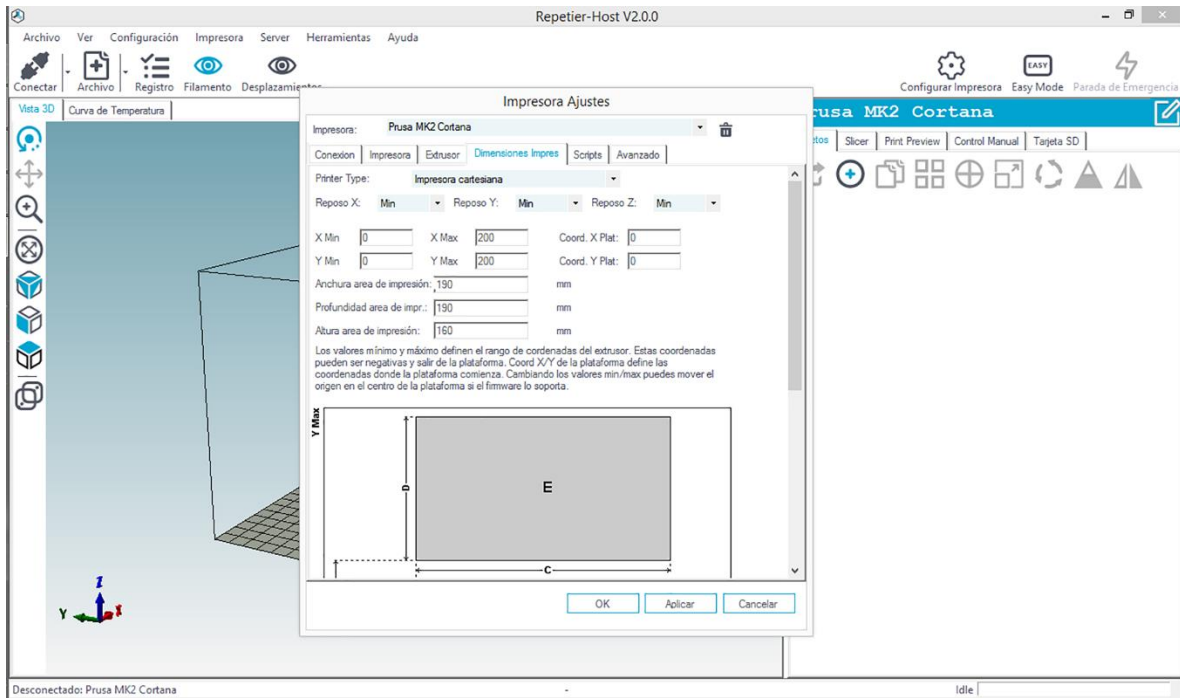


Figura A.5: Dimensiones de la impresora

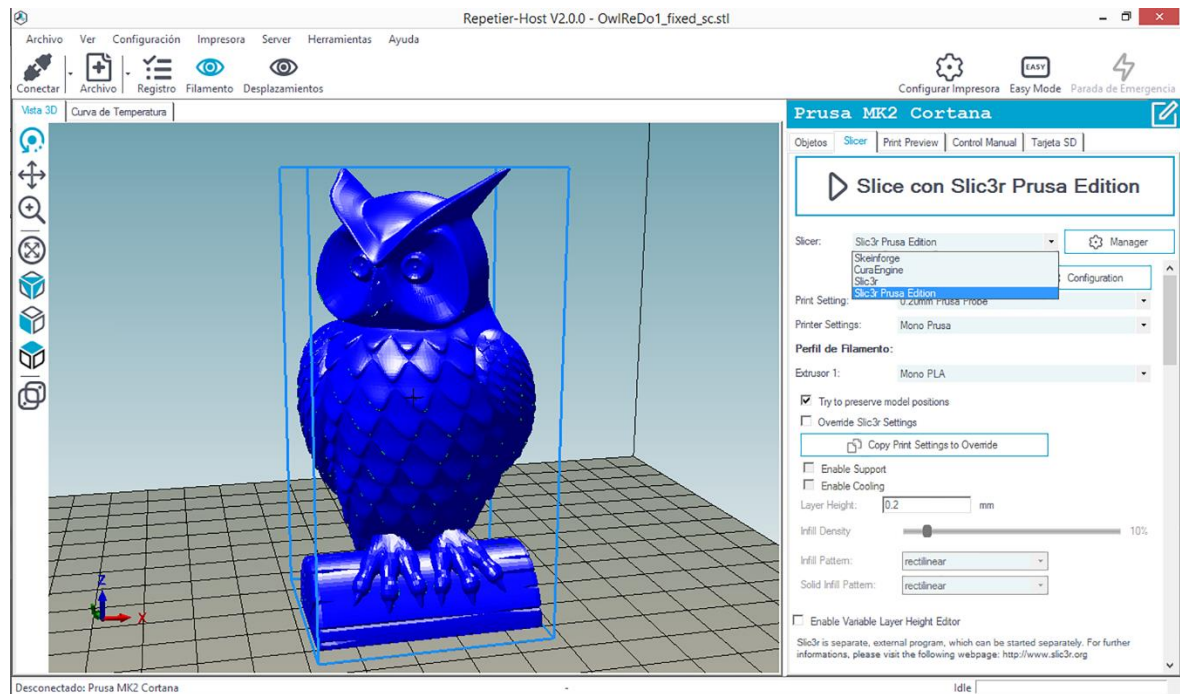


Figura A.6: Opciones de laminadores

Anexo B

Configuración del Slic3r

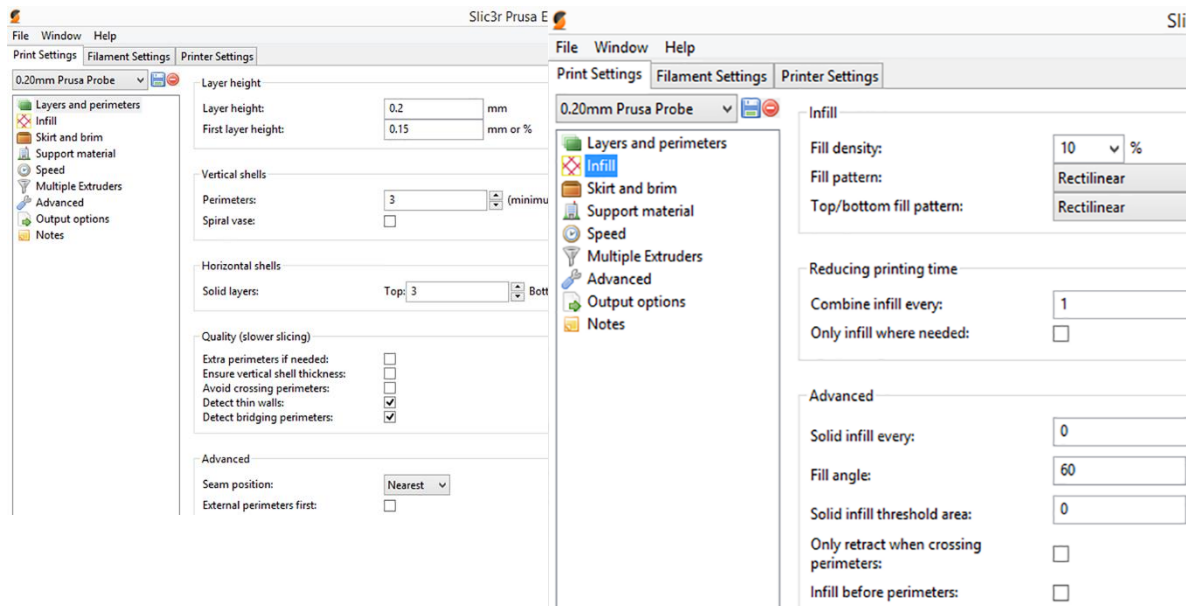


Figura B.1: Parámetros para Capas, Perímetros y Relleno

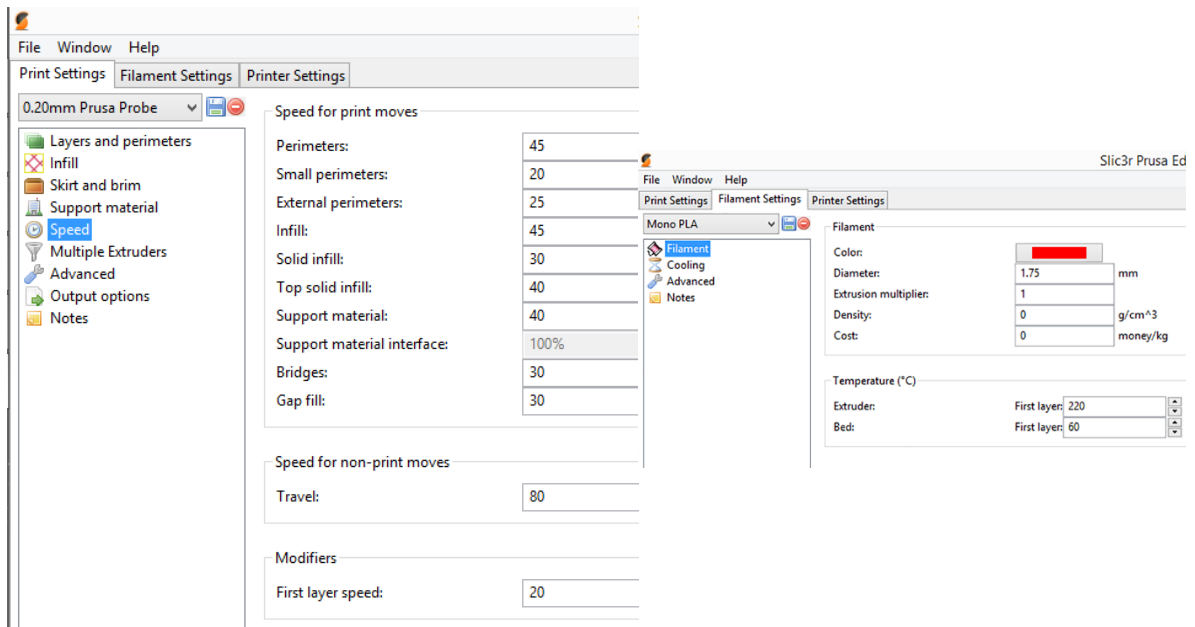


Figura B.2: Velocidad y Temperaturas en Slic3r

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE

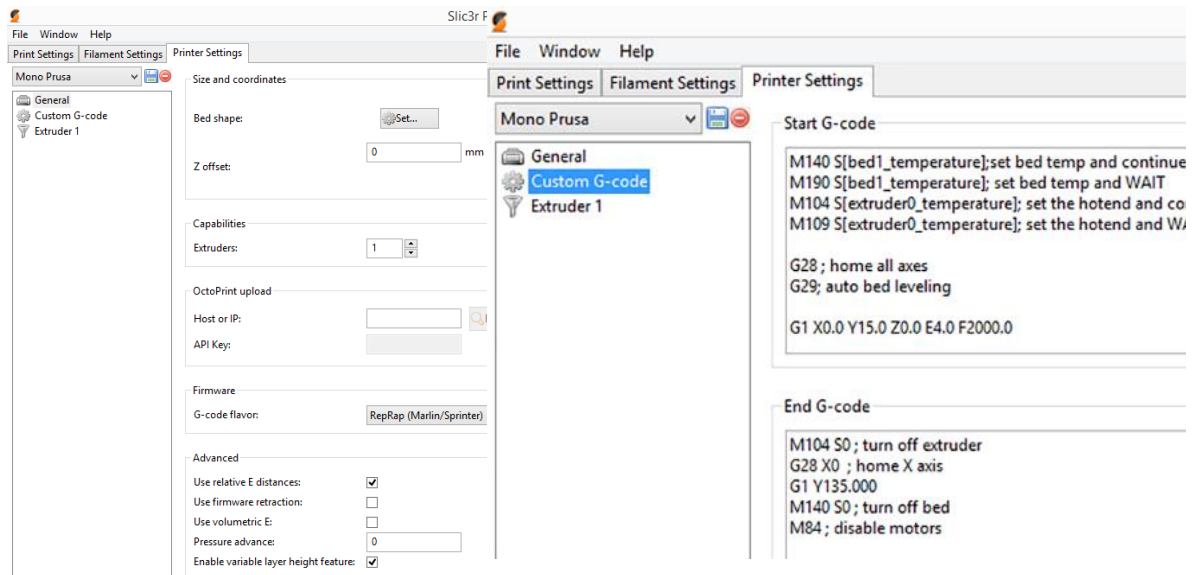


Figura B.3: Configuración general del extrusor y Código-G

Anexo C

Configuración del CURA

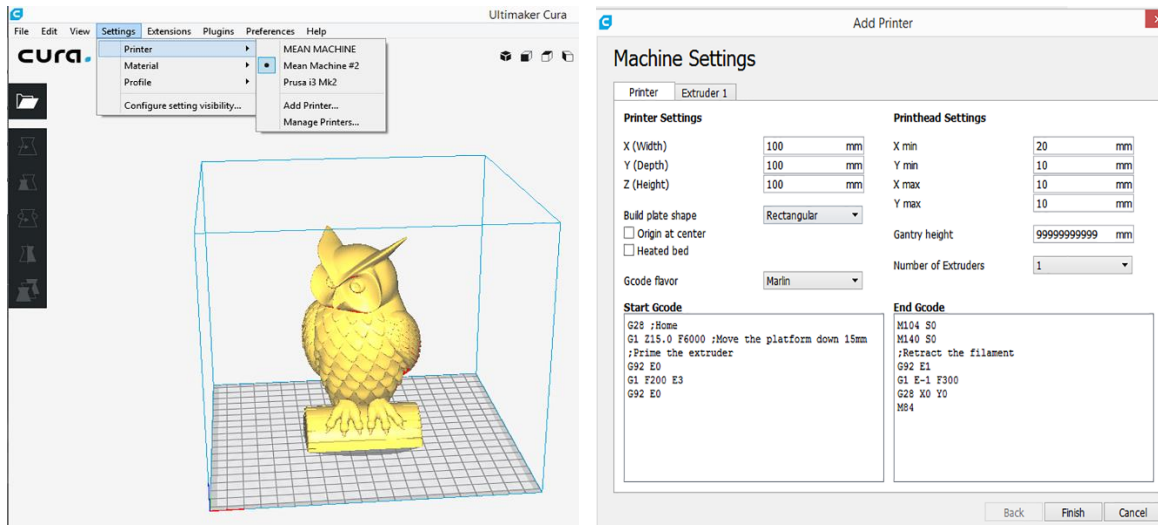


Figura C.1: Configuración Básica de la impresora

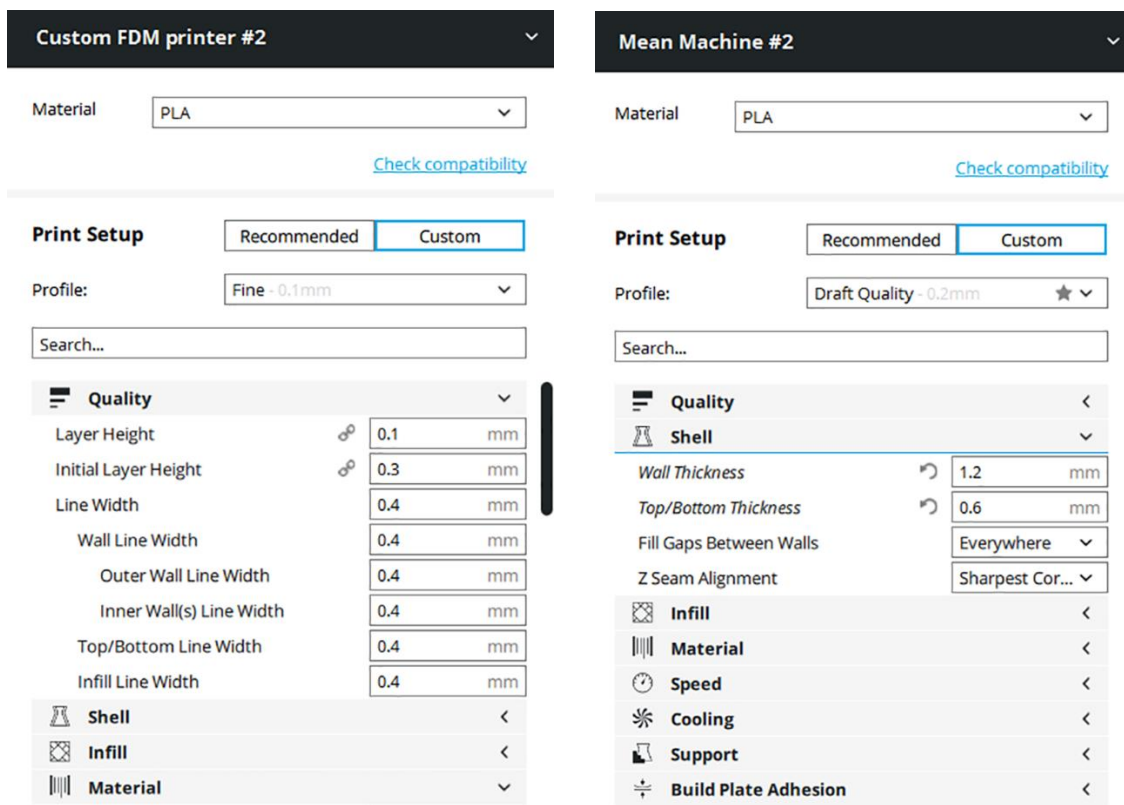


Figura C.2: Parámetros de Capa y Perímetros

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D
UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE

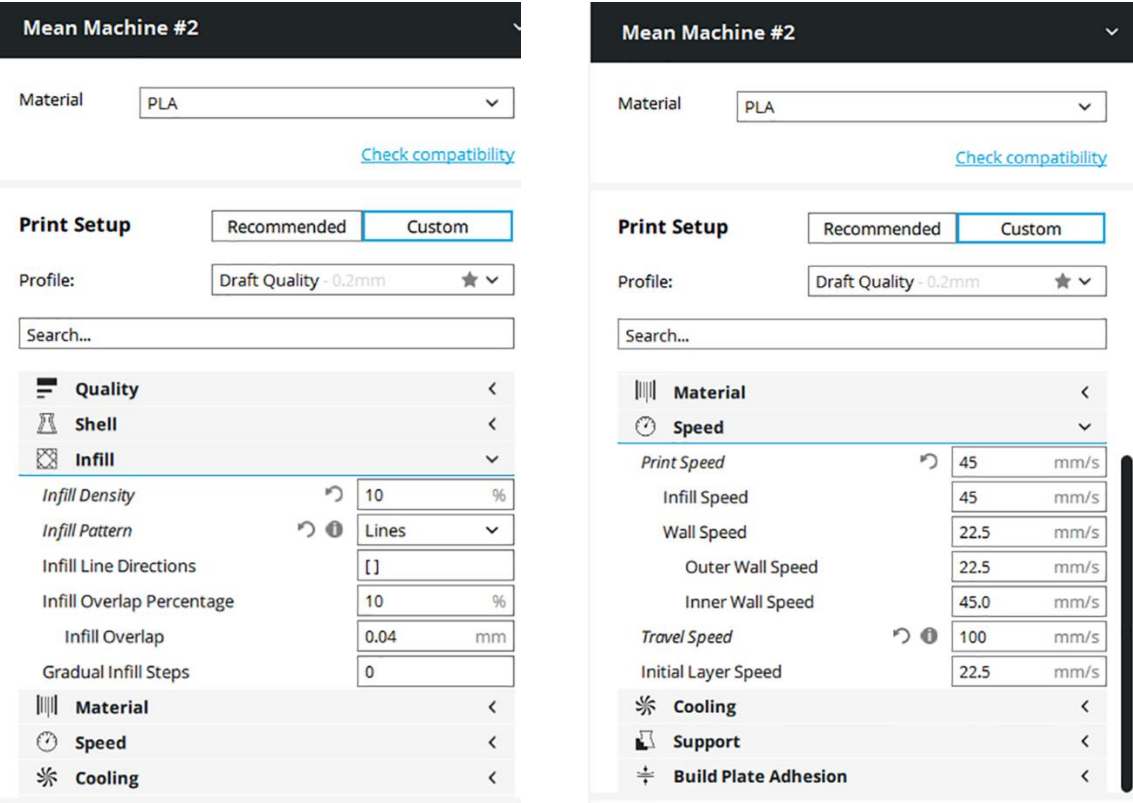


Figura C.3: Parámetros para el Relleno y Velocidad

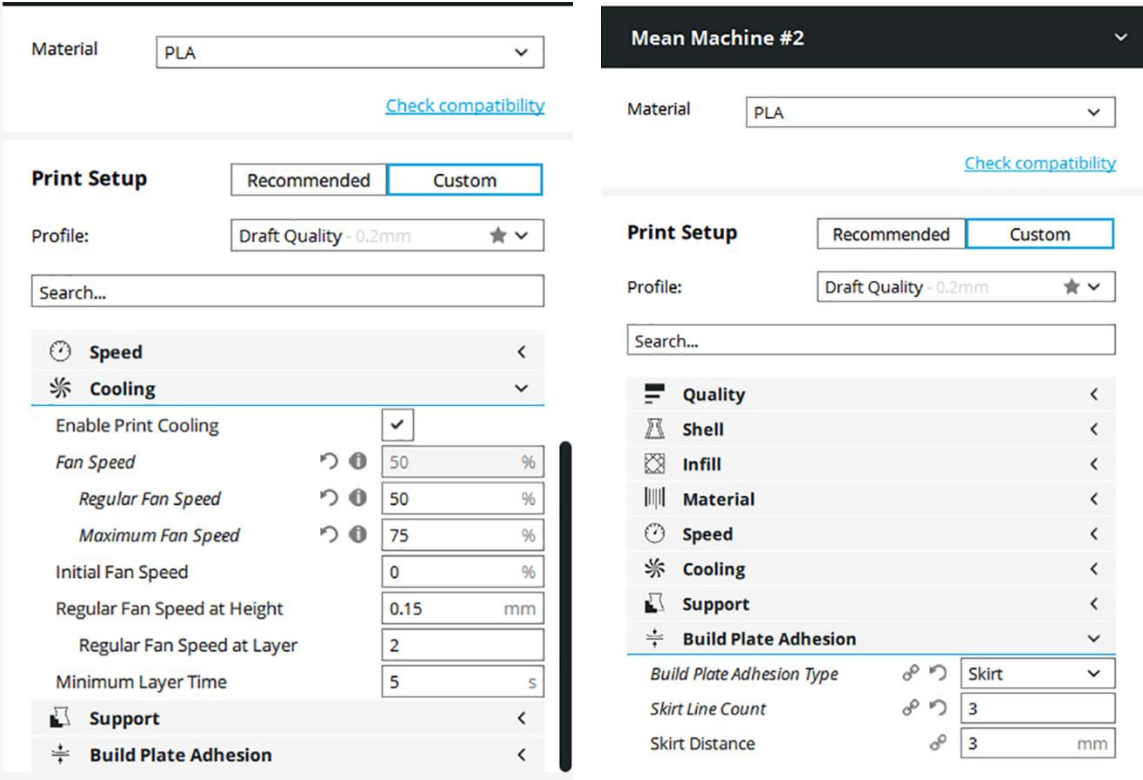


Figura C.4: Parámetros utilizados para la ventilación y otros

Anexo D

Configuración del Craftware

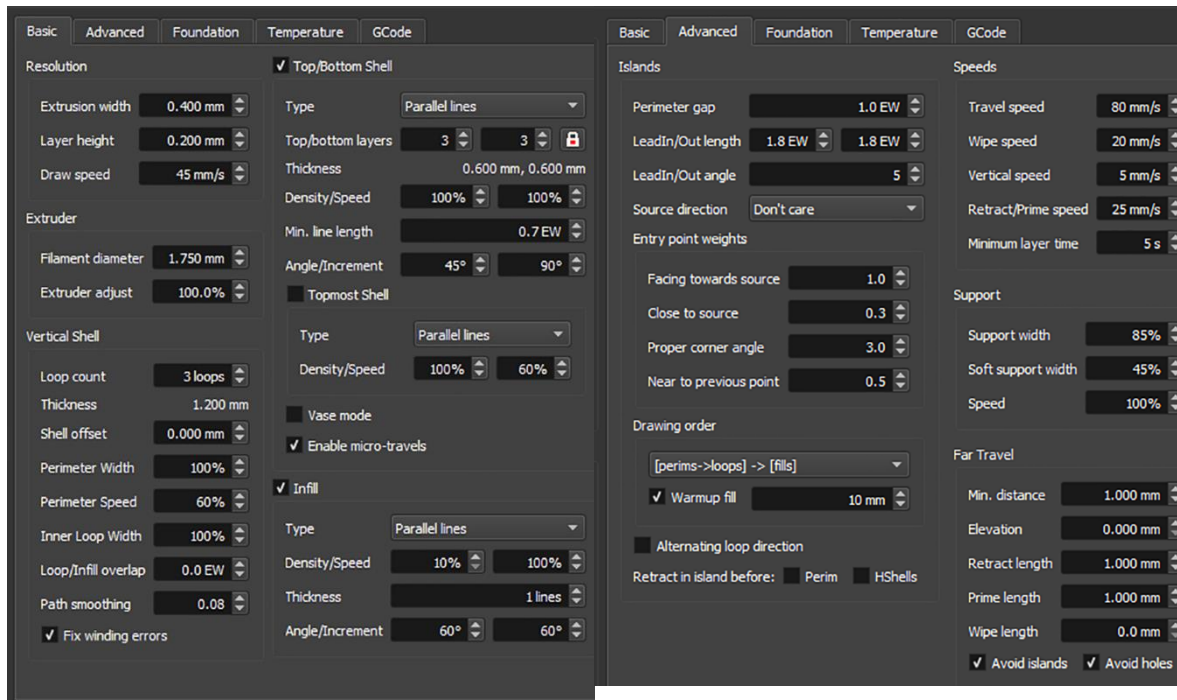


Figura D.1: Parámetros Básicos y Avanzados

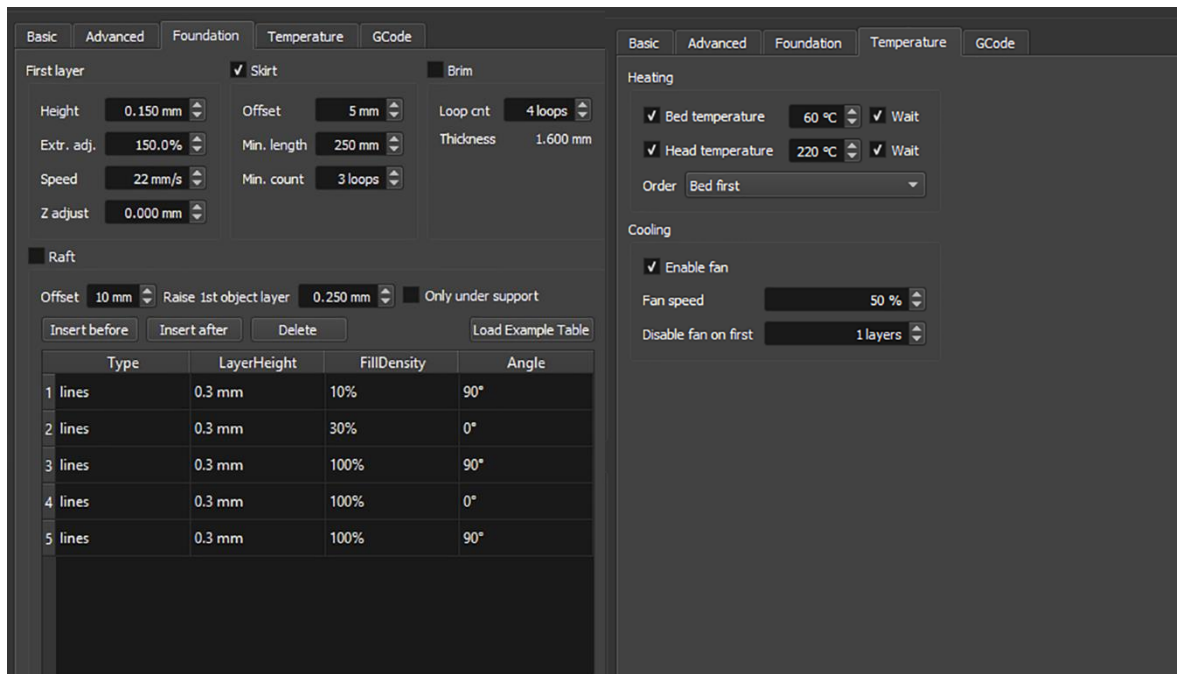


Figura C.2: Parámetros de Primera Capa y Temperatura

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D UTILIZANDO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE

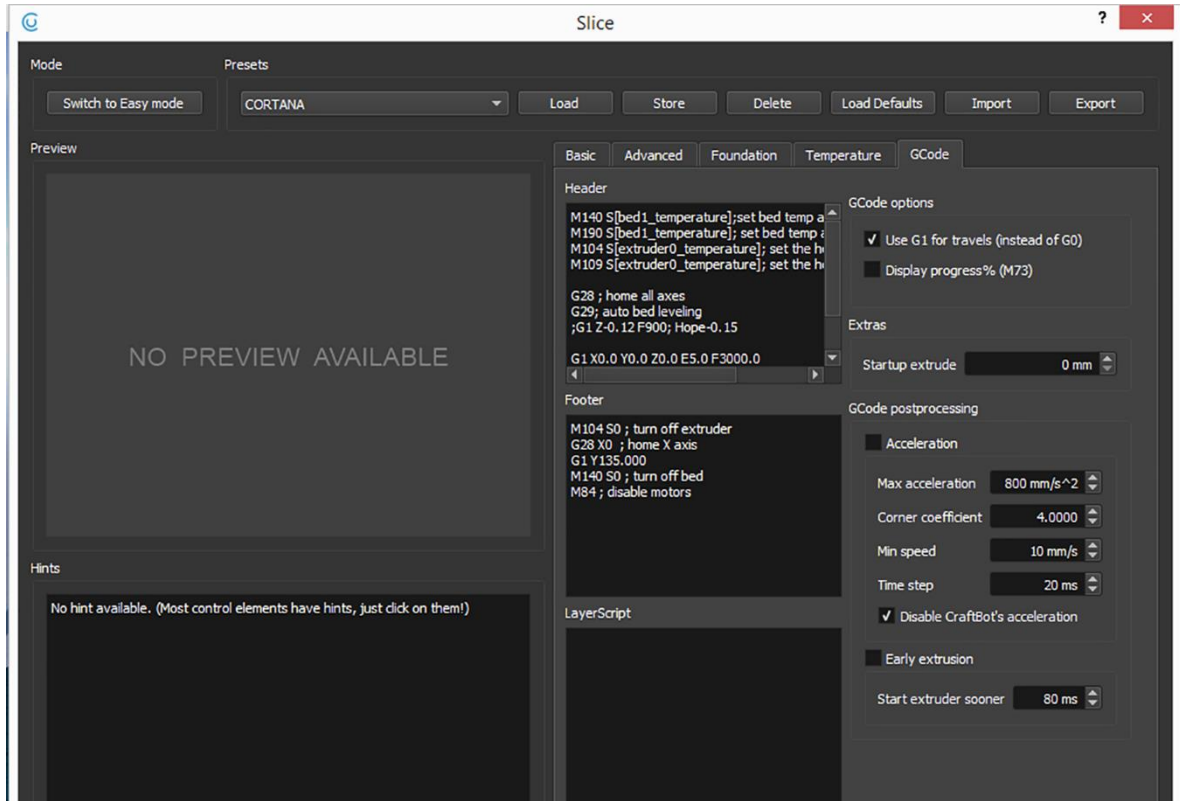


Figura D.3: Parámetros de Código-G

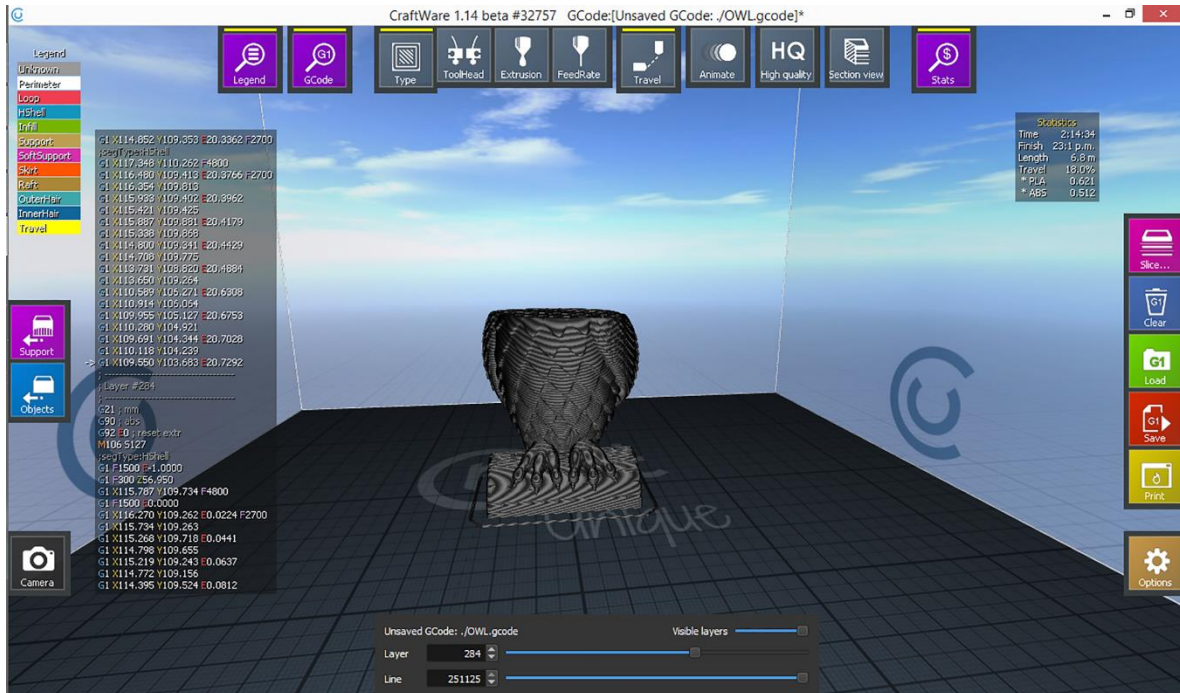


Figura D.4: Interfaz Final de Craftware